

Math. A.
213^{fe}

Die Ursachen
der
Dampfkessel-Explosionen
und das
Dampfkessel-Thermometer
als
Sicherheitsapparat.

Von
Dr. H. Scheffler,
Baurath.

Berlin.

Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

1867.

Math. A.

213 Fe

Scheffler.

Die Ursachen
der
Dampfkessel-Explosionen
und das
Dampfkessel-Thermometer
als
Sicherheitsapparat.

Von
Dr. H. Scheffler,
Baurath.

Stadtbibliothek
München

Berlin.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)
1867.

15-A.

Die Ursachen

der

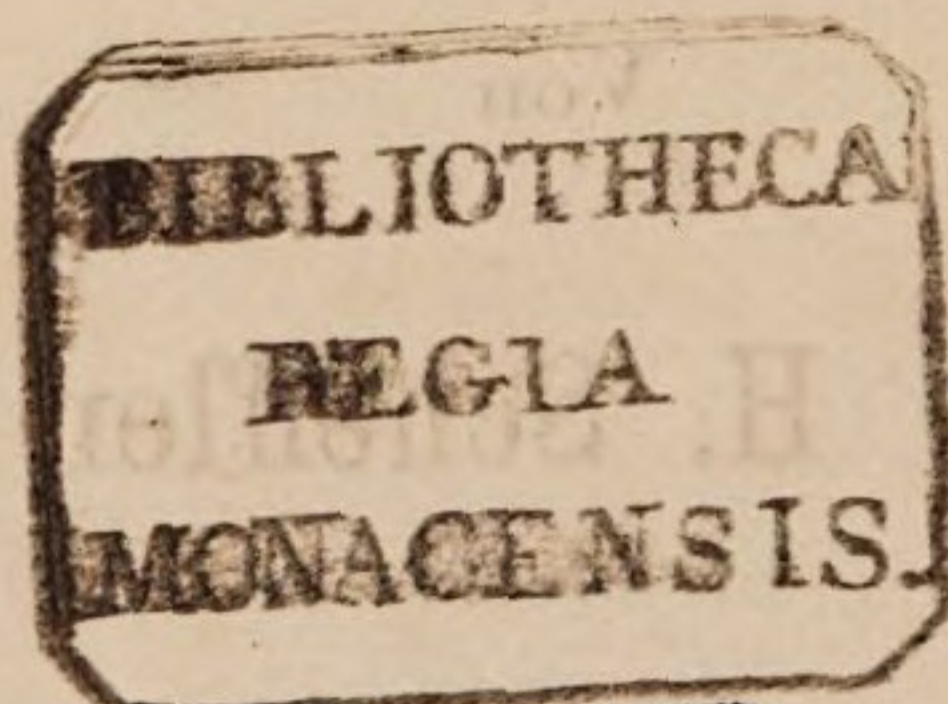
Dampf-Kessel-Explosionen

und des

Dampf-Kessel-Thermometer.

von

Sicherheitsapparat.



Bayerische
Staatsbibliothek
München

Berlin.

Verlag von Ernst & Korn
(Geographische Anstalt von H. W. Korn)

1885.

Trotz aller Vorsichtsmaafsregeln ereignen sich Dampfkesselexplosionen noch so häufig, unter so unerwarteten Umständen und mit so auffallenden Effekten, dass die Vermuthung nahe liegt, ein bisher nicht gehörig in Rechnung gezogenes Element spiele bei diesen Explosionen die Hauptrolle, und es fehle demzufolge an den Kesseln noch ein wesentlicher Kontrolleapparat. Vor weiteren Betrachtungen über diesen Gegenstand erlaube ich mir, zur Bestätigung des Vorstehenden eine kurze Beschreibung der Explosion, welche sich vor Kurzem auf der Braunschweig-Harzburger Bahn ereignete, voranzuschicken.

1. Explosion der Lokomotive „Magdeburg“.

Am 5. October 1866 explodirte in der Nähe der Station Vienenburg der Kessel der Lokomotive „Magdeburg“ unter folgenden Umständen. Die Lokomotive, welche Kieszüge zu befördern hatte, stellte sich um 1 Uhr Nachmittags in dem Nebengleise auf und stand hier während der Beladung des Zuges still. Das Feuer wurde möglichst gedämpft gehalten; als die Dampfspannung sich steigerte und die beiden Sicherheitsventile, welche auf 70 Pfund gespannt waren, anfangen zu arbeiten, wurde der überflüssige Dampf durch die Wärmehähne nach dem Tender abgelassen. Diese Maschine sollte reglementsmäßig mit einem Dampfdrucke von 75 Pfund gebraucht werden. Dieser Druck ist während jener Zeit nicht überschritten, und die Sicherheitsventile sind fortwährend in mässiger Thätigkeit gewesen. Um $2\frac{3}{4}$ Uhr, also nach $1\frac{3}{4}$ Stunden, ist der Führer etwa 4 Minuten lang im Hauptgleise entlang und wieder zurück gefahren, um Wasser in den Kessel zu pumpen. Der Kessel ist so hoch als es über-

haupt möglich war, mit Wasser angefüllt worden, und dabei ist die Dampfspannung nach dem Manometer auf 55 Pfund herabgesunken. Gleich nach der Rückkehr auf die Haltestelle hat der Führer behuf Belebung des Feuers, da alsbald die Abfahrt erfolgen sollte, den Dampfahn nach dem Schornsteine oder dem sogenannten Püster geöffnet, bis das mit seiner Kohle bedeckte Feuer durchgebrannt war und die beiden Sicherheitsventile sich mäßig gehoben hatten. Nachdem dieser Dampfahn etwa 2 Minuten lang gebraucht war, und der Dampfdruck sich auf 75 Pfund erhoben hatte, erfolgte plötzlich die Explosion des Kessels.

Die Entladung war vorzugsweise nach den Seiten gerichtet; in der Bahnaxe äußerte sich nur ein Stoß, welcher die festgebremste Lokomotive nebst Tender $5\frac{1}{2}$ Fuß weit zurücktrieb und den Führer nebst Heizer nach deren Aussage erst gegen den Tender und dann gegen die Maschine, also mit zwei aufeinander folgenden entgegengesetzten Stosswirkungen besinnungslos zu Boden schleuderte, ohne denselben jedoch Beschädigungen zuzufügen.

Die seitliche Entladung war von überraschenden Effekten begleitet. Die Feuerkiste, die Rauchkammer und die zwischen beiden liegenden Siederöhren waren unbeschädigt und an ihrem Platze geblieben. Der Kessel aber war vorn und hinten abgerissen, in vielen Lang- und Querlinien, vornehmlich in den Nietreihen, aber auch im vollen Bleche aufgerissen, in eine Zahl isolirter Stücke zertrümmert und auseinander geschleudert. Die Hauptmasse des Kessels war in 3 Theile zerlegt, einen unteren und zwei Seitentheile. Der untere Theil war nach unten gepresst und hier liegen geblieben. Die beiden Seitentheile, in einem Gewichte von $2\frac{1}{2}$ und 7 Zentner, waren jedoch nach der linken Seite der Maschine über einen 72 Fuß hohen Berg, das erstere 550, das letztere 328 Fuß weit weggeschleudert. Die Siederöhren waren vorn in der Feuerkistenwand und hinten in der Rauchkammerwand fest sitzen geblieben, in der Mitte waren dieselben jedoch alle nach aussen gekrümmt wie ein Bündel Ruthen, welches durch eine von der Axe aus wirkende Kraft auseinander getrieben ist.

Durch die Seitenexplosion wurden mehrere Personen vom Fahrpersonale, und zwar der Kondukteur so stark verletzt, dass er an seinen Wunden gestorben ist.

Der Befund nach der Explosion hat Folgendes ergeben.

Die Lokomotive „Magdeburg“ stammt aus der Fabrik von G. Forrester in Liverpool und ist seit 1843, also 23 Jahr lang im Betriebe. Der 7 Fuß 10 Zoll lange und 37 Zoll im Lichten weite zylindrische Kessel besteht aus Eisenblech von $\frac{3}{8}$ Zoll Stärke. Das Material der Kesselwände hat sich als untadelhaftes, sehniges Eisen erwiesen, welches bei den nachträglich angestellten Versuchen eine absolute Festigkeit von 50400 bis 52000 Pfund pro Quadratzoll rheinl. zeigte. Alle Sicherheitsapparate sind in gutem Zustande gewesen, mit Ausnahme des Manometers, welches nach der Explosion die Dampfspannung um 1 Atmosphäre zu schwach anzeigte. Da dieses erst im verwichenen März neu angebrachte und damals richtig befundene Instrument fortwährend mit den Sicherheitsventilen konform gearbeitet hat, so ist es nicht ganz unwahrscheinlich, dass dasselbe erst bei der Explosion Schaden gelitten hat. Hätte die Unrichtigkeit des Manometers aber wirklich schon vor der Explosion stattgefunden, so hätte der Druck doch immer nur $70 + 15 = 85$ Pfd. betragen, und es ist wichtig, dass ein mäßiges Blasen der Sicherheitsventile vor der Explosion nicht bloß durch den Lokomotivführer und Heizer, sondern auch durch das übrige Fahrpersonal konstatiert ist.

Glühende Kesselwände können nicht wohl vorhanden gewesen sein, da die ganze Feuerkiste und sämtliche Siederöhren, also alle direkt vom Feuer bespülten Flächen unversehrt geblieben sind, kein Merkmal von Glühen gezeigt haben, auch nach dem kurz vor der Explosion stattgehabten Wasserpumpen, wobei der Druck um 15 bis 20 Pfund gesunken ist, mit größter Wahrscheinlichkeit mit Wasser bedeckt gewesen sind.

2. Allgemeine Ursachen der Dampfkesselexplosionen.

Über die direkte Ursache der vorstehend beschriebenen Explosion haben alle Sachverständigen nicht allein Nichts ermittelt, sondern auch mit einiger haltbaren Begründung Nichts muthmaassen können. Der Dampfdruck scheint das gesetzlich zulässige Maass, welches $5\frac{1}{2}$ Atmosphären beträgt, kaum erreicht zu haben; hätte er es aber auch wirklich etwas überschritten, so lässt die Erwägung, dass die gesetzliche Formel das Kesselblech etwa nur mit dem zehnten Theile seiner Festigkeit in Anspruch nimmt, eine solche Zertrümmerung in viele Stücke

und ein solches Hinwegschleudern schwerer Massen doch immer höchst räthselhaft erscheinen.

Ähnliche auffallende Erscheinungen finden fast bei jeder Explosion statt. Meistens ist es wahrscheinlich, dass kein übermäßiger Druck vorhanden gewesen ist, und wo ein ungewöhnlich hoher Druck hypothetisch angenommen werden kann, sind doch die mechanischen Effekte unerklärlich.

Ich bin der Ansicht, dass keine Festigkeitstheorie die gewöhnlichsten Effekte der Explosion zu erklären im Stande ist, selbst wenn eine noch so hohe Steigerung des Druckes angenommen wird. Jeder Dampfkessel hat nämlich nach Maaßgabe seiner Form, seiner Zusammensetzung und der von Punkt zu Punkt variirenden Beschaffenheit seines Materials eine Bruchlinie, welche seine schwächste Stelle unter dem Angriffe der fraglichen Kräfte bezeichnet. In Wirklichkeit wird diese Bruchlinie nicht in allen Punkten gleiche Stärke haben, sondern in einem Punkte am schwächsten sein. Diefß ist der Bruchpunkt. Wenn die Dampfspannung ein gewisses Maaß überschreitet, erfolgt die Zerreißung des Kessels in der Bruchlinie und in keiner anderen Linie, und zwar beginnt die Trennung in dem Bruchpunkte und schreitet von hier aus vor, indem sich der Kessel nach der Bruchlinie aufschlitzt. Nun können unmöglich die bald longitudinal, bald transversal, bald gerade, bald krumm, bald durch eine Nietreihe, bald durch das volle Blech laufenden Trennungslinien eines explodirenden Dampfkessels, welche den Kessel in mehrere, oft in viele Stücke von großem und kleinem Umfange und von den mannichfaltigsten Figuren zerlegen und oftmals ein gesundes Stück von kleinem Umfange aus dem vollen Fleische reißen, Bruchflächen nach der Festigkeitstheorie sein. Hierzu kommt, dass vom ersten Augenblicke des erfolgenden Bruches, ebenso wie vom ersten Augenblicke der Hebung eines Sicherheitsventils oder der Ingangsetzung der Dampfmaschine der Druck im Kessel in Folge des Entweichens des Dampfes herabsinken und zwar rapide herabsinken muss. Das Aufschlitzen des Kessels längs der Bruchlinie müsste also bald aufhören, der Dampf müsste in der Regel durch die in der Nähe des Bruchpunktes sich bildende Öffnung herausfahren. Wenn sich dabei auch die Ränder dieser Öffnung umbiegen, so können doch nicht füglich dieselben Stücke, welche keine Spur von Biegung zeigen, aus dem Kes-

selmantel gerissen werden, und wenn der entweichende Dampf auch wie eine aus einem Gefäße strömende Flüssigkeit einen Reaktionsdruck nach entgegengesetzter Seite gegen den Kessel äußert, so kann dieß doch nicht das Abreißen, Zertrümmern und Fortschleudern vieler Stücke, sondern nur eine Pressung und allenfalls eine Verbiegung des aus elastischem Material bestehenden Kessels, sowie möglicherweise eine Fortrückung dieses Kessels in seiner Totalität zur Folge haben.

Allerdings kommen auch Explosionen vor, bei welchen der Kessel nur aufgerissen und nicht fortgeschleudert wird; allein der Hauptcharakter der meisten Explosionen ist nicht Verbiegung und Reaktionsdruck, sondern Zertrümmerung und Fortschleuderung. Die Explosionen erscheinen also im Wesentlichen nicht als statische, sondern als dynamische Effekte, nicht als die Wirkung von Druckkräften, sondern von Stoß- oder eigentlichen Explosionskräften, d. h. von Kräften, welche ihre Intensität nicht allmählich, sondern plötzlich steigern, also nicht ruhigen Druck, sondern mechanische Arbeit entwickeln.

Die Wirkung der eigentlichen Explosions- oder Stoßkräfte ist unter einem ganz anderen Gesichtspunkte zu beurtheilen, als die der Druckkräfte oder Pressungen. Stoß überträgt sich auf einen Körper nicht nach denselben Prinzipien, welche für Druck gelten; die Formeln der gewöhnlichen Festigkeitstheorie sind auf diesen Fall nicht anwendbar, und es treten dafür Betrachtungen an die Stelle, welche in der heutigen Mechanik für praktische Zwecke noch nicht gehörig entwickelt sind. Der äußere Effekt eines Stoßes hängt von den sich bildenden Erschütterungs- oder Vibrationssystemen ab, welche den erschütterten Körper theils in größere Wellensysteme von stehenden oder laufenden Erschütterungswellen abtheilen, theils aber molekulare Fortpflanzungssysteme mit sehr kleinen, also zahlreichen Vibrationswellen bilden. Die schwächsten Linien dieser Systeme korrespondiren im Allgemeinen nicht mit den Bruchlinien, dieselben sind von einer Menge unbedeutend scheinender Nebenumstände abhängig und darum in demselben Körper vermöge geringer Veränderungen sehr variabel. Außerdem wird in diesen Erschütterungssystemen die Festigkeitsgrenze oft durch anscheinend geringe Stoßkräfte überschritten. Dieser Effekt ist, da er auf Vibrationen beruht, nicht mit erheblichen

Formveränderungen verbunden, zeigt sich also nicht in starken Biegungen, sondern in Zerreißungen. Hierdurch, sowie auch in Folge der während der Zerreißung sich vielleicht noch mannichfaltig ändernden Erschütterungswellen wird der Körper häufig in mehrere Stücke zerlegt, welche durch den hinter ihnen nachhaltig wirkenden Dampfdruck hinweggeschleudert werden.

Dieselbe mechanische Arbeitsmenge bringt immer andere und im Allgemeinen intensivere Effekte hervor, in je kürzerer Zeit sie entwickelt wird.

Ein allmählich anwachsender Druck gegen eine offen stehende Thür schließt dieselbe; eine Flintenkugel wirft die Thür nicht zu, sondern durchbohrt sie mit einem runden Loche. Ein zunehmender Druck auf einen Kessel drückt denselben zusammen, ein Gewehrschuss durchlöchert denselben, reißt also kleine Stücke aus demselben. Das verhältnissmäßig langsam sich entzündende körnige Büchsenpulver treibt die Kugel mit allmählich zunehmender Geschwindigkeit aus dem Rohre, indem der steigende Druck die Reibung zwischen Kugel und Lauf überwindet, also Trennung in der schwächsten Linie hervorbringt. Ein zu rasch sich entzündendes Grubenpulver wirft nicht die Kugel oder im Bergwerke den Pfropfen der eingesetzten Ladung heraus, obgleich dieser Vorgang doch der Überwindung des geringsten Widerstandes entsprechen würde; dasselbe lässt vielmehr die Kugel sitzen, erzeugt unabhängig davon gewisse Erschütterungssysteme und zersprengt in Folge dessen den Gewehrlauf resp. das Gestein, obwohl die Gesamtarbeit, welche das letztere Pulver entwickelt, vielleicht geringer ist, als die des ersteren. Wenn die Entwicklung sehr rasch vor sich geht, wie beim Sprengöl, ist sogar ein wenig auf das Öl gegossenes Wasser hinreichend, um einen intensiven Zertrümmerungseffekt auf das umliegende Gestein zu übertragen. In einem engen Rohre reicht ein rasch explodirendes Material aus, um selbst bei ganz freien Mündungen die Zertrümmerung hervorzubringen. Der letzte Fall lehrt, dass bei der Explosion auch die im explodirenden Stoffe selbst sich bildenden Erschütterungssysteme eine Rolle spielen.

Die eigentlichen Dampfkesselexplosionen sind nur erklärbar durch die Annahme plötzlicher Gasentwicklungen, welche stoßartig wirken. Hierbei sind Zerreißungen durch allmählich wachsenden Druck nicht ausgeschlossen; dieselben kommen eben-

falls vor, sind aber sorgfältig von jenen Stosswirkungen zu unterscheiden. Allgemein wird man die Zerstörungen der Dampfkessel in drei Klassen bringen müssen:

- a) Brüche in Folge zu starken Druckes,
- b) Explosionen in Folge plötzlicher Stöße,
- c) Kombinierte Brüche und Explosionen.

Dass plötzliche Explosionsstöße vorkommen müssen, lässt sich nach Obigem aus den äußeren Effekten schließen.

Manche vor der Explosion beobachteten Erscheinungen bilden wichtige Bestätigungen dieses Schlusses. Hierzu gehören folgende.

Wenn in zahlreichen Fällen konstatirt werden kann, dass die Sicherheitsapparate in normalem Stande und keine glühenden Wandflächen vorhanden gewesen sind, wenn man also annehmen muss, dass ganz kurz vor der Explosion nur ein normaler Druck stattgefunden hat; so nöthigt die große Zahl der unter solchen Umständen vorkommenden Explosionen zu der Annahme plötzlicher Kraftentwicklungen, welche so rasch vor sich gehen, dass sie sich der Anzeige durch die Kontrollapparate entziehen und die Wirksamkeit der Sicherheitsapparate ausschließen.

Da in der Praxis der stehenden Dampfmaschinen vielfach glühende und stark abgenutzte Kesselflächen vorkommen, ohne Explosionen zu erzeugen, gegen die mit dem Glühen verbundene Erweichung und gegen die mit dem Dünnwerden verbundene Schwächung des Materials aber selbst der normale Dampfdruck als ein übermäßiger erscheint, so geht hieraus hervor, dass in den meisten Fällen ein ruhiger Druck sich ansehnlich über das normale Maass steigern kann, ohne eine Explosion herbeizuführen.

Es ist schon vielfach beobachtet, dass Explosionen unmittelbar nach dem Anlassen der Maschine oder bei einer plötzlichen Dampfablassung erfolgt sind. Mit dem Anlassen der Maschine ist eine augenblickliche Verminderung der Dampfspannung verbunden, wenn das Feuer während des Stillstandes nicht so lebhaft erhalten war, dass dasselbe den durch die beginnende Arbeit der Maschine abgeführten Dampf ersetzen kann. Während der Arbeit tritt eine solche plötzliche Verminderung des Dampfdruckes nicht ein, weil das Feuer so regulirt wird, dass es den abgehenden Dampf ersetzt. Mit der Verminderung

des Dampfdruckes ist aber eine lebhaftere Verdampfung des Wassers verbunden, da der Siedepunkt vom Drucke abhängt und mit der Verminderung dieses Druckes herabsinkt. Tritt nun diese Verminderung plötzlich und in starkem Maasse ein, so hat sie eine plötzliche und erhebliche Dampfbildung zur Folge, welche nach Obigem eine Explosion herbeiführen kann.

Nachdem ich meine Gedanken über die rapide Verdampfung in Folge plötzlicher Druckermässigungen geordnet und den wesentlichen Inhalt der vorliegenden Abhandlung niedergeschrieben hatte, musste ich mich überzeugen, dass die Ansicht nicht neu war und dass namentlich Herr Ingenieur Kaiser zu Breslau das unbestreitbare Verdienst hat, in einer Abhandlung, welche in Band IX und X der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure abgedruckt ist, die Ansicht, dass die meisten Explosionen auf plötzlicher Dampfbildung in Folge plötzlicher Druckverminderung beruhen, zuerst in überzeugender, man kann sagen unwidersprechlicher Weise dargethan und begründet, auch Versuche veranlasst zu haben, welche, obwohl sie jetzt noch nicht ganz vollendet sind, doch seine Ansicht hinreichend bestätigt haben (vergl. die eben genannten Bände der citirten Zeitschrift).

Unter Anderem hat sich durch diese Versuche ergeben, dass ein auf 8 Atmosphären probirtes Gefäß bei einer thatsächlichen Spannung von nur 2 Atmosphären in dem Augenblicke zersprengt wurde, als diese Spannung durch das Abströmen der Dämpfe um mehrere Pfund vermindert wurde.

Es hat sich ferner herausgestellt, dass eine plötzliche Dampfbildung durch das Öffnen eines Ventils zwar unmittelbar ein rasches Sinken des Manometers, sofort aber ein blitzartiges Aufschnellen desselben, also eine stoßweise Dampfbildung in Folge des rasch ermässigten Druckes zur Folge hat.

Die Abhandlung des Herrn Ingenieur Kaiser ist ausserdem reich an Mittheilungen über praktische Fälle, wo sich die Explosion nur durch eine Stosswirkung und zwar auf Grund plötzlicher Dampfbildung in Folge plötzlicher Druckermässigung erklären lässt.

Wenngleich die Ansicht, dass plötzliche Stosswirkungen bei den Dampfkesselexplosionen eine große Rolle spielen, auch schon von anderen Seiten ausgesprochen ist, so scheint mir doch

keine so gut begründet zu sein, wie die Kaisersche. Insbesondere pflichte ich ihm vollständig bei, dass die Hypothese von Jacquemet, wonach beim plötzlichen Öffnen eines Ventils das Wasser plötzlich in Form von Schaum gegen diese Öffnung stürzen und dieselbe versperren soll, eine reine Illusion ist.

Wäre lediglich die Untersuchung der Folgen einer plötzlichen Dampfentziehung der Zweck dieses Aufsatzes, so würde ich nichts Besseres thun können, als auf die obige Abhandlung von Kaiser hinzuweisen. Eine Unterhaltung mit meinem Freunde, dem Professor der Chemie Knapp, über Dampfkesselexplosionen veranlasst mich jedoch, das Feld der Betrachtung zu erweitern, und außerdem hat die gegenwärtige Schrift wesentlich den Zweck, die mechanischen und physikalischen Vorgänge näher zu beleuchten und die Mittel zur Abwendung der Explosionen zu besprechen.

Hinsichtlich der Erweiterung des Gesichtsfeldes, so soll es nach Mittheilungen des Herrn Professors Knapp gelungen sein, unter konstantem Drucke den Siedepunkt des Wassers durch Umhüllung und auch durch Mischung mit fettigen Substanzen oder Ölen zu erhöhen, also das Sieden zu verzögern, sodass in diesem Zustande die Dampfentwicklung bei der gewöhnlichen Temperatur noch nicht stattfindet, aber plötzlich eingeleitet wird, sobald gewisse Umstände eintreten, welche die Befreiung größerer Wassermassen von der Umhüllung oder Berührung mit den Fettsubstanzen herbeiführen. Derartige Umstände können auch bei Dampfkesseln, denen das Wasser durch geschmierte Apparate zugeführt wird, vorkommen.

Ferner ist die verzögernde Kraft der Auflösungen von Salzen jeder Art hinlänglich bekannt.

Endlich wird der Siedepunkt des Wassers durch manche andere Nebenumstände, welche die chemische Qualität des Wassers (sein Gehalt an Luft, an Erden u. s. w.) bedingt, verzögert, und unter den hohen Pressungen der Dampfkessel kann die Variation des Siedepunktes möglicherweise erheblich werden. Immer ist nun das neu in den Kessel gepumpte Wasser von anderer chemischer Beschaffenheit, als das darin enthaltene, indem letzteres durch das Sieden seine Luft und sonstigen Bestandtheile zum größten Theile verloren hat, während das nachgepumpte Wasser sie mitbringt und bei einer Lokomotive, welche ihren Tender an verschiedenen Orten füllt, zuweilen sogar ganz neue Bestand-

theile zuführt. Demzufolge kann das Nachpumpen von Wasser trotz der durch seine Temperatur bedingten Abkühlung des Kesselwassers doch möglicherweise vermöge seiner chemischen Beschaffenheit den Siedepunkt noch tiefer herabdrücken und dadurch eine plötzliche Dampfbildung erzeugen.

Auf die Möglichkeit des sogenannten Siedeverzuges und die damit verbundenen Gefahren ist auch schon bei der Beurtheilung einzelner Dampfkesselexplosionen, insbesondere in den Verhandlungen des Preussischen Gewerbevereins vom Jahre 1865 auf S. 164 hingewiesen, und es ist dort ausdrücklich erwähnt, dass Dufour in Genf wichtige Schritte zur Erforschung der Ursachen der verzögerten Verdampfung gethan habe.

Es ist beachtenswerth, dass auch kurz vor der Explosion der Lokomotive „Magdeburg“ ein Nachpumpen von Wasser stattgefunden hat, in Folge dessen zwar sogleich eine Erniedrigung der Spannung um 15 Pfund, sehr rasch darauf aber eine Hebung um 15 bis 20 Pfund eingetreten ist.

Ausserdem fordert bei diesem Vorfalle der Umstand Beachtung, dass die Lokomotive fast 2 Stunden lang, wenn auch mit gedämpftem Feuer, doch auch nur mit mässigem Blasen der Sicherheitsventile still gestanden, also möglicherweise dem Wasser ziemlich viel Wärme zugeführt hat, die jedoch aus irgend einem unbekannten Grunde keine Dampfbildung, sondern nur eine Erhöhung der Wassertemperatur mit verschobenem Siedepunkte bewirkt hat.

Man erkennt aus allem Diesen, dass die äusseren Effekte der Explosionen, die Vorgänge vor den Explosionen und direkte Beobachtungen einander die Hand reichen, um das Vorkommen von Stosswirkungen ausser allen Zweifel und die Ursache davon in plötzliche Dampfbildungen zu setzen, die Hypothese von Knallgasbildungen aber in das Bereich der Fabeln zu verweisen.

3. Unterschied zwischen plötzlicher und allmählicher Dampfbildung.

Im Vorstehenden ist die Wahrscheinlichkeit plötzlicher Dampfbildungen als ein Schluss aus Erscheinungen gefolgert, welche nur nach ihrem allgemeinen Charakter darauf hinweisen. Die Einsicht in den Vorgang nach bekannten Naturgesetzen unter den im praktischen Dampfkesselbetriebe obwaltenden

den Umständen ist jedoch hierdurch nicht gewonnen. Man fragt sich immer, warum eine glühende Kesselwand nur das eine Mal und überhaupt nur selten, und nicht alle Male oder doch häufiger Explosionen herbeiführt; man wird nicht geneigt sein, der chemischen Beschaffenheit des Wassers, seinem Luftgehalte, seinen Fettbeimischungen in der Praxis des Dampfkesselbetriebes einen irgend namhaften Wechsel und demzufolge auch nicht eine namhafte Verrückung des Siedepunktes zuzuschreiben; man kann die Voraussetzung einer raschen Dampfbildung bei rascher Druckermäßigung, also bei rascher Dampfbildung zugeben, ohne darum die rasche Dampfbildung als eine Hauptursache der Explosionen anzusehen, weil ja der Betrieb eines Dampfkessels in fortgesetzten raschen Dampfbildungen durch den Zylinder besteht, weil ferner die Sicherheitsventile sich häufig plötzlich öffnen und Dampf entlassen, und weil jede Maschine von Zeit zu Zeit ausgeblasen wird. Es scheint demnach erforderlich, die verschiedenen in der Praxis vorkommenden Umstände unter dem Gesichtspunkte der physikalischen und mechanischen Gesetze etwas genauer zu mustern.

Dem unter einem bestimmten Drucke p gehaltenen Wasser entspricht eine bestimmte Siedetemperatur t , bei welcher sich Dampf bildet, und umgekehrt stellt sich bei einer bestimmten Temperatur t , auf welcher das Wasser im verschlossenen Gefäße gehalten wird, Dampf von bestimmter Spannung p ein. Wird dem unter konstantem Dampfdrucke p gehaltenen Wasser von der Temperatur t mehr Wärme zugeführt, so bildet sich Dampf, indem die Temperatur des Wassers konstant gleich t bleibt, die zugeführte Wärme also als latente Wärme zur Dampfbildung verwandt wird. Es verwandelt sich aber nicht die ganze Wassermasse, sondern nur ein gewisser Theil derselben in Dampf. Die verdampfende Wassermenge und somit die erzeugte Dampfmenge hängt von der zugeführten Wärmemenge ab; es erzeugt sich gerade dasjenige Dampfquantum, welches fähig ist, die zugeführte Wärmemenge als latente Wärme in sich zu beherbergen. Hiernach hängt die Schnelligkeit der Dampfbildung von der Schnelligkeit der Wärmezuführung ab. Nun ist die Überführung der Wärme durch Feuer von den Kesselwänden her stets ein allmählicher Prozess, solange die Wände nicht glühend sind: denn die mit der Heizfläche unmittelbar in Berührung stehende Flüssigkeit, welche direkt erhitzt wird, bildet

eine dünne Schicht, ist also nur ein kleiner Theil der gesammten im Kessel befindlichen Wassermasse; die Durchdringung der Metallwände, die Erhitzung der damit in Berührung befindlichen Wasserschicht, die Leitung im Wasser selbst und die Übertragung durch Strömungen bewirken nur eine allmähliche Fortpflanzung der Wärme durch die Flüssigkeit und demzufolge auch nur eine allmähliche Erhöhung der Durchschnittstemperatur im Kessel. Durch die Steigerung des Feuers kann daher keine plötzliche oder stoßweise Dampfbildung hervorgebracht werden, und selbst glühende Wandflächen vermögen dieß nur in solchen Fällen, wo sie in einer hinreichend großen Ausdehnung plötzlich von Wasser benetzt werden, ein Ereigniss, welches im Allgemeinen nicht nur das Glühendwerden einer Wandfläche, sondern außerdem noch das rasche Nachpumpen von Wasser oder plötzliche erhebliche Schwankungen des Wasserspiegels voraussetzt.

Außer dem Falle des Glühendwerdens der Kesselwände kann also durch Temperaturerhöhung nicht füglich eine plötzliche Dampfbildung und demzufolge eine Explosion direkt herbeigeführt werden, vorausgesetzt, dass die chemische Beschaffenheit des Wassers sich nicht während der Erwärmung ändere.

Ganz anders ist der Vorgang, wenn umgekehrt nicht die Temperatur des Wassers erhöht, sondern bei konstanter Temperatur t der Dampfdruck p vermindert wird. Denn jetzt wird nicht ein kleiner Theil, sondern die Gesamtmasse des Kesselwassers in den Zustand der Dampfbildung versetzt, weil die Verminderung des Druckes auf die Oberfläche eine Verminderung des Druckes in jedem Punkte der Flüssigkeit zur Folge hat, also jedes Wasseratom unter einen Druck gebracht wird, welcher bei der gegebenen Temperatur nicht im Stande ist, den flüssigen Aggregatzustand zu erhalten. Alle Atome der ganzen Wassermasse entwickeln also gleichzeitig Dampf, und zwar verwandelt sich von jedem Wasseratome ein bestimmter Theil in Dampf, indem er dem übrigen Theile so viel Wärme entzieht und latent macht, als für seine eigene Verdampfung unter dem Drucke p erforderlich ist. Bei dieser allge-

meinen Dampfbildung sinkt also durch das Latentwerden einer bestimmten Wärmemenge die Temperatur des Kesselwassers auf das dem neuen Drucke entsprechende Maafs herab.

Ginge die Erniedrigung des Druckes p allmählich vor sich, so würde, wenn auch die gesammte Wassermasse mit einem Male in allen Punkten Dampf bildet, doch in einem kleinen Zeitraume immer nur eine kleine Dampfmenge erzeugt werden, weil ja dann in einem kleinen Zeitraume nur eine kleine Druckermäßigung stattfände, und demzufolge der in Dampf übergehende Theil des Wassers nur ein kleiner ist. Dieser Fall tritt ein, wenn sich in Folge der steigenden Wärmezuführung und alsdann in Folge der steigenden Dampfspannung das Sicherheitsventil öffnet: denn unter diesen Umständen entlässt das Ventil den allmählich andringenden Dampf auch allmählich und erhält den Druck auf konstanter Höhe, giebt also zu keiner Druckverminderung Veranlassung.

Nur ein unverhältnissmässig grosses und schlecht konstruirtes Sicherheitsventil, welches sich plötzlich mit grossem Querschnitte öffnet, könnte durch plötzliche Druckermäßigung gefährlich werden.

Ebenso wird die während der Arbeit der Maschine und bei lebhaftem Feuer vorkommende Dampfentziehung keine plötzliche Druckermäßigung und demnach auch keine plötzliche Dampfentwicklung hervorbringen, weil der abziehende Dampf durch die verdampfende Wirkung des Feuers ersetzt, der Druck also konstant erhalten wird.

Wohl aber kann unter manchen anderen Umständen eine plötzliche Druckerniedrigung eintreten, z. B.

- a) beim Anlassen der Maschine während eines matten Feuers, welches den Dampfverbrauch nicht sofort ersetzt, also vornehmlich beim Anlassen der Maschine in einem Stadium sinkenden Druckes;
- b) bei sehr brüskem Anlassen der Maschine, namentlich wenn dieselbe leichte Arbeit zu verrichten (einen leichten Zug zu befördern) hat und demzufolge rasch eine grosse Geschwindigkeit annimmt, für welche der verbrauchte Dampf nicht schnell genug ersetzt wird;
- c) bei plötzlicher Kondensation des Dampfes im Kessel ohne entsprechende Abkühlung des Kesselwassers;
- d) bei plötzlicher Ablassung des Dampfes durch eine direkt

in den Dampfraum mündende Öffnung (wogegen die unter Wasser mündenden Öffnungen nicht ganz so gefährlich sind, da sie nur eine allmähliche Erweiterung des Dampfvolums bewirken können);

e) bei dem Bruche des Kessels, namentlich an einer am Dampfraume oder in der Nähe des Wasserspiegels liegenden Stelle, welche eine rasche Dampfentleerung zur Folge hat;

f) bei dem Durchbrennen einer nicht mit Wasser benetzten und demzufolge glühend werdenden Wandfläche, sodass das Glühendwerden die Explosion auf indirektem Wege, nämlich in Folge der beim Durchbrennen erfolgenden Dampfausströmung herbeiführt.

Man sieht, dass die gewöhnliche Praxis Fälle genug darbietet, wo theils eine unvorsichtige Behandlung, theils ein unerwartetes Ereigniss die Gefahr der Explosion durch plötzliche Dampfentwicklung in Folge plötzlicher Druckerniedrigung herbeiführen kann.

Es ist hervorzuheben, dass unmittelbar vor der Explosion der Lokomotive Magdeburg ein Dampfverlust durch den zur Belegung des Zuges gebräuchlichen Püster stattgefunden hat.

Sehr wichtig für die Erklärung mancher Erscheinungen ist der Fall e. Derselbe lehrt, dass ein gewöhnlicher Bruch des Kessels gar leicht eine Explosion durch die entstehende plötzliche Druckermäßigung im Gefolge hat. Weniger gefährlich ist ein Bruch, welcher nur im Wasserraume stattfindet, weil das Hinauspressen des Wassers nur eine allmähliche Senkung seines Spiegels, also auch nur eine allmähliche Druckermäßigung nach sich zieht. In den Verhandlungen des Preussischen Gewerbevereines vom Jahre 1863 sind auf S. 63 u. 106 zwei Fälle mitgetheilt, wo ein unter dem Hauptkessel liegender Sieder, also ein abgesonderter Theil des Wasserraumes explodirt ist, ohne den Hauptkessel mit dem Dampfraume in Mitleidenschaft zu ziehen, zwei praktische Beweise, dass ein Bruch im Wasserraume ohne eine Explosion des Dampfraumes vor sich gehen kann. Viel gefährlicher ist ein Bruch im Dampfraume. Unter allen Umständen aber erscheint jeder gewöhnliche Bruch des Kessels, selbst wenn derselbe an sich selbst ganz gefahrlos wäre, wegen seiner leichten Verbindung mit einer Explosion als höchst bedenk-

lich, und es ist motivirt genug, alle Maaßregeln zu erschöpfen, um Brüche zu verhüten, weil hierdurch auch Explosionen verhütet werden.

Das sowohl vom Lokomotivführer als auch vom Heizer der explodirten Lokomotive Magdeburg konstatirte Faktum, dass sie erst gegen den Tender und dann gegen die Maschine geschleudert sind, lässt auf zwei getrennte Wirkungen schließen, wovon die erste die Reaktion des zuerst ausströmenden Dampfes, die zweite aber ein durch die plötzliche Druckermäßigung herbeigeführter Explosionsstoß zu sein scheint.

Der größten aller Gefahren sind die Dampfkessel unstreitig ausgesetzt, wenn die chemische Beschaffenheit des Wassers oder ein anderer Umstand eine allmähliche namhafte Erhitzung des Wassers über den Siedepunkt hinaus ermöglicht, weil es alsdann nur einer geeigneten Anregung bedarf, um die ganze über der Siedehitze vorhandene Wärme plötzlich latent zu machen und eine entsprechende Wassermenge auf einmal in Dampf zu verwandeln.

Diese Gefahr ist deshalb für die größte zu halten, weil alle vorher genannten, soweit sie auf der Feuerung, der Dampfentziehung oder Druckermäßigung, dem Erglühen der Kesselwände und dem Bruche des Kessels beruhen, durch bekannte Vorsichtsmaassregeln eher verhütet werden können, als die mit der unsichtbaren chemischen Beschaffenheit verknüpfte Gefahr der allmählichen und deshalb unmerkbar sich einstellenden Überhitzung des Wassers.

Ob z. B. bei der oben beschriebenen Explosion der Lokomotive „Magdeburg“ nicht eine Überhitzung des Wassers stattgefunden habe, lässt sich durchaus nicht unbedingt verneinen. Ganz unwahrscheinlich ist es nicht, wenn man erwägt, dass die Maschine fast 2 Stunden lang im Feuer still gestanden hat. Ebenso ist es nicht unmöglich, dass das Wassernehmen in diesem Zustande einen plötzlichen Impuls zur Verdampfung gegeben habe, weil das seit 2 Stunden im Sieden erhaltene Wasser gewiss eine andere chemische Beschaffenheit gehabt hat, als das frisch zugeführte.

Dass übrigens in der Praxis des Dampfkesselbetriebes wirklich Überhitzungen des Wassers vorkommen, kann man als ganz gewiss ansehen, da zuweilen plötzliche Erhebungen

des Manometers ohne irgend eine äußerlich bemerkbare Veranlassung, also ohne Einwirkung des Führers auf das Feuer, das Wasser, den Dampf, den Maschinenbetrieb u. s. w. wahrgenommen werden, welche nothwendig auf eine plötzliche Verdampfung in Folge des Siedeverzuges zurückgeführt werden müssen.

4. Vorsichtsmaafsregeln.

Die vorstehenden Betrachtungen führen unmittelbar zu einer Anzahl von Vorsichtsmaafsregeln, welche beim Betriebe der Dampfmaschinen auſser den sonst schon angewandten zu beachten sein dürften. Dieselben lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen.

- a) Es ist bedenklich, eine Dampfmaschine ungestüm an-
gehen zu lassen, und zwar am bedenklichsten bei sin-
kendem Drucke oder nachlassendem Feuer, weil
dies ein so rasches Sinken des Druckes zur Folge haben
kann, dass der Siedepunkt erheblich unter die herrschende
Temperatur des Wassers fällt, also eine plötzliche starke
Dampfbildung eintritt.
- b) Aus demselben Grunde ist es bedenklich, den Püster
rasch und weit zu öffnen, besonders da der Gebrauch
dieses Apparates eine Belebung des Feuers bezweckt, also
ein mattes Feuer voraussetzt.
- c) Imgleichen ist es bedenklich, durch einen zur Heizung
von Lokalen mit dem direkten Dampfe der Maschine etwa
angebrachten Hahn oder durch den nach dem Tender
führenden Wärmhahn den Dampf so rasch abzuführen,
dass ein Sinken des Druckes stattfindet.
- d) Selbst Injektions- und Dampfmaschinen sind nicht so
zu gebrauchen, dass ein Sinken des Druckes dadurch her-
vorgebracht wird.
- e) Überhaupt ist jede plötzliche Entfernung oder
Kondensation eines erheblichen Dampfquantums im
Dampfraume bedenklich.
- f) Es ist wünschenswerth, dass während der kurzen Still-
standszeiten der Lokomotiven und kurz vor dem Anlassen
jeder Dampfmaschine die Sicherheitsventile kräftig
blasen und das Feuer lebhaft brennt, insbesondere
dass der Druck nicht im Sinken begriffen ist.

- g) Es ist nicht rathsam, große Wasserquantitäten in langen Pausen auf einmal in den Kessel zu pumpen, vielmehr empfiehlt es sich, kleinere Quantitäten in kürzeren Pausen einzuführen, damit nicht durch erhebliche Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Wassers eine plötzliche Senkung des Siedepunktes und dadurch eine plötzliche Verdampfung herbeigeführt wird.
- h) Es ist nicht gut, Öl oder Fett in das Tenderwasser gelangen zu lassen, also mit Schmiereimern Wasser aus dem Tender zu füllen, weil solche Beimischungen eine Verrückung des Siedepunktes und demnach plötzliche Dampfbildungen veranlassen können.
- i) Gleichmäßiges Speisewasser ist ungleichmäßigem vorzuziehen und überhaupt reines dem unreinen und weiches dem harten, weil im Allgemeinen das reinere Wasser das chemisch konstantere ist.
- k) Insbesondere ist Vorsicht geboten, wenn der Kessel vorher mit Wasser gespeist war, welches irgend welche Salze oder Erden oder Fette enthielt, und nunmehr mit reinerem Wasser gespeist werden soll, weil jene Beimischungen das Sieden verzögern oder den Siedepunkt erhöhen, also das hinzukommende reine Wasser durch Aufnahme der vorhandenen Temperatur rascher verdampft wird.
- l) Am Dampfraum müssen alle Theile des Kessels vorzüglich gut und stark gearbeitet sein und bei den Kesselrevisionen sorgfältig untersucht werden, weil ein Bruch in diesen Theilen sehr leicht eine Explosion zur Folge hat.
- m) Ein möglichst großer Dampfraum ist vortheilhaft, weil sich der Druck in demselben bei der Abführung eines gewissen Dampfquantums um so weniger ermäßigt, je mehr Dampf vorhanden oder je größer der Dampfraum ist. Demnach ist eine übermäßige Anfüllung des Kessels mit Wasser, wodurch der Dampfraum auf ein zu kleines Minimum beschränkt wird, bedenklich.
- n) Imgleichen ist ein möglichst kleiner Wasserraum nützlich, weil sich in der kleineren Wassermenge auch nur eine kleinere überflüssige Wärmemenge aufspeichern kann.
- o) Alle Benutzung des direkten Dampfes aus dem Kessel zu Nebenzwecken ist unerwünscht, weil diese Be-

nutzung bei unvorsichtigem Gebrauche Gefahr herbeiführt. Demnach wären Püster zur Belebung des Zuges in der Stillstandszeit, sowie direkte Dampfheizungen zu vermeiden.

p) Die Kaltwasserpumpe muss möglichst tief unter dem Wasserspiegel in den Kessel einmünden, um etwaige Kondensationen des Dampfes zu verhüten.

5. Das Thermometer.

Durch die vorstehenden Vorsichtsmaafsregeln werden sich zwar manche aus plötzlichen Dampfentwicklungen entspringenden Unfälle verhüten lassen; allein gegen den schleichenden und gefährlichsten Feind, welcher unvermerkt den Siedepunkt des Wassers festhält, indem er die Temperatur desselben allmählich erhöht, um dann bei einer mehr dem Zufalle anheim gestellten günstigen Anregung plötzlich mit einer massenhaften Verdampfung hervorzubrechen, bieten jene Maafsregeln nicht den nöthigen Schutz dar. Die desfallsigen Vorschriften unter *g* bis *k* sind in dieser Beziehung unzulänglich, und die Wissenschaft ist schlechterdings außer Stande, dieselben genügend zu vervollständigen, da die Ursachen der Verrückung des Siedepunktes noch zu den Geheimnissen der Natur gehören. Außerdem bewegen sich diese letzteren Vorschriften über die Behandlung der Maschine insofern in allgemeinen und darum unbestimmten Worten, als sie nur ein Zuviel oder Zuwenig verbieten, ohne ein bestimmtes Maafs für das Zulässige zu geben. In dieser Hinsicht unterscheiden sich die Vorschriften unter *g* bis *i* wesentlich von den unter *a* bis *f* gegebenen, welche eine zu rapide Dampfentziehung oder Druckermäßigung verbieten, indem der Grad einer eintretenden Druckermäßigung durch das Manometer erkannt und beurtheilt werden kann.

Ein Instrument, welches über die Verrückung des Siedepunktes Rechenschaft giebt, ist hiernach von Wichtigkeit. Dieses Instrument ist das *Thermometer*. Die Kenntniss der Temperatur des Wassers bei dem durch das Manometer angegebenen Drucke verschafft unmittelbar ein Urtheil über die eventuelle Verrückung des Siedepunktes. Bekanntlich siedet das Wasser bei normalem Vorgange unter einem bestimmten Drucke *p* nur bei einer bestimmten Temperatur *t*.

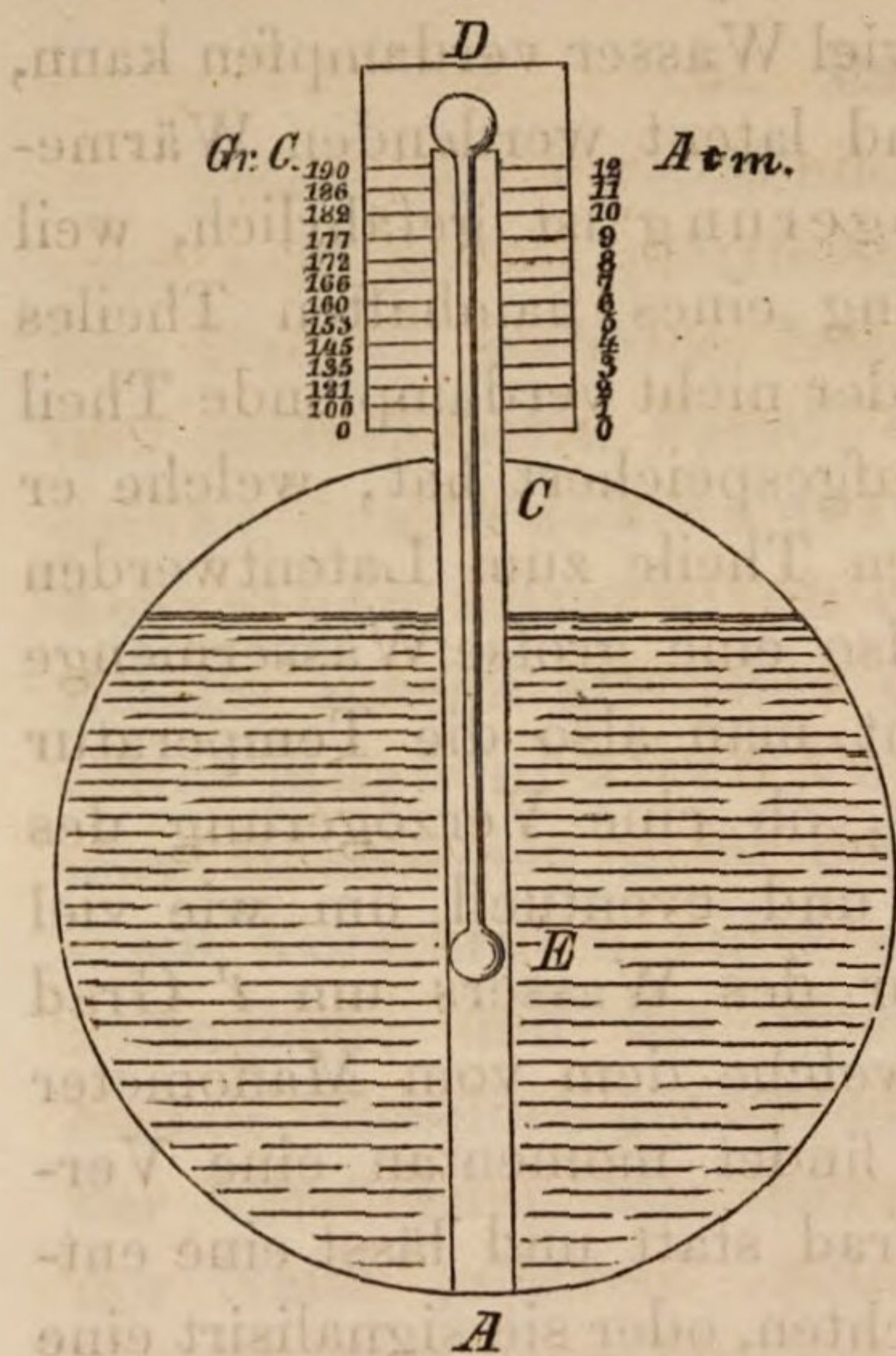
Abnorme Umstände können diese Temperatur erhöhen, nicht erniedrigen. Niemals wird also der Siedepunkt vorgeschoben oder beschleunigt, sondern nur zurückgehalten oder verzögert, die Dampfbildung tritt niemals früher ein, als bis das Wasser die Temperatur t erreicht hat, wohl aber verspätet sie sich zuweilen, sodass sie erst bei höherer Temperatur eintritt. Im Übrigen würde die Möglichkeit einer Beschleunigung der Dampfbildung keine Gefahr für den Dampfkessel involviren, weil in diesem Falle doch immer nur so viel Wasser verdampfen kann, als der vom Feuer zugeführten und latent werdenden Wärmemenge entspricht. Nur die Verzögerung ist gefährlich, weil sie zu der plötzlichen Verdampfung eines namhaften Theiles der Flüssigkeit führen kann, indem der nicht verdampfende Theil bereits eine große Wärmemenge aufgespeichert hat, welche er mit einem Male dem verdampfenden Theile zum Latentwerden zur Disposition stellen, womit er also eine große Wassermenge in Dampf verwandeln kann. Kennt man also die Temperatur des Wassers, so weiß man sofort, ob eine Verzögerung des Siedepunktes obwaltet oder nicht, und eventuell um wie viel Grad. Ist nämlich die Temperatur des Wassers um t' Grad höher, als die normale Siedehitze, welche dem vom Manometer angezeigten Drucke entspricht, so findet momentan eine Verzögerung des Siedepunktes um t' Grad statt und lässt eine entsprechende Dampfbildung befürchten, oder sie signalisirt eine Gefahr, für welche der Betrag von t' Grad als ein Maass betrachtet werden kann.

Nach allem diesen scheint ein Thermometer ein nothwendiger Sicherheitsapparat für jeden Dampfkessel zu sein.

Was seine Konstruktion und Anbringung betrifft, so lässt die Erwägung, dass die Siedehitze für 10 Atmosphären Druck erst auf 180° C. steigt, während das Quecksilber eine Temperatur von 360° zum Sieden gebraucht, und die Erwägung, dass sich das Quecksilber bis 300° ziemlich gleichmässig (nämlich etwa um $\frac{1}{5300}$ für jeden Temperaturgrad) ausdehnt, ein Quecksilberthermometer zu dem obigen Zwecke als ganz geeignet erscheinen. Wenn Kugel und Röhre eines solchen Thermometers die Verhältnisse eines gewöhnlichen Thermometers haben, welches für Temperaturen von -25° bis $+100^{\circ}$ C., also für eine Temperaturdifferenz von 125° gebraucht wird, so bedarf das

Dampfkesselthermometer, um 100° höher zu steigen, nur einer doppelt so großen Röhrenlänge für den schwankenden oder äußerlich sichtbaren Theil der Quecksilbersäule. Zu dieser Röhrenlänge kommt dann noch das Stück, welches von der Vorderfläche des Kessels bis in das Kesselwasser reicht und selbst bei der niedrigsten Temperatur, die man zu beobachten wünscht, mit Quecksilber gefüllt sein muss.

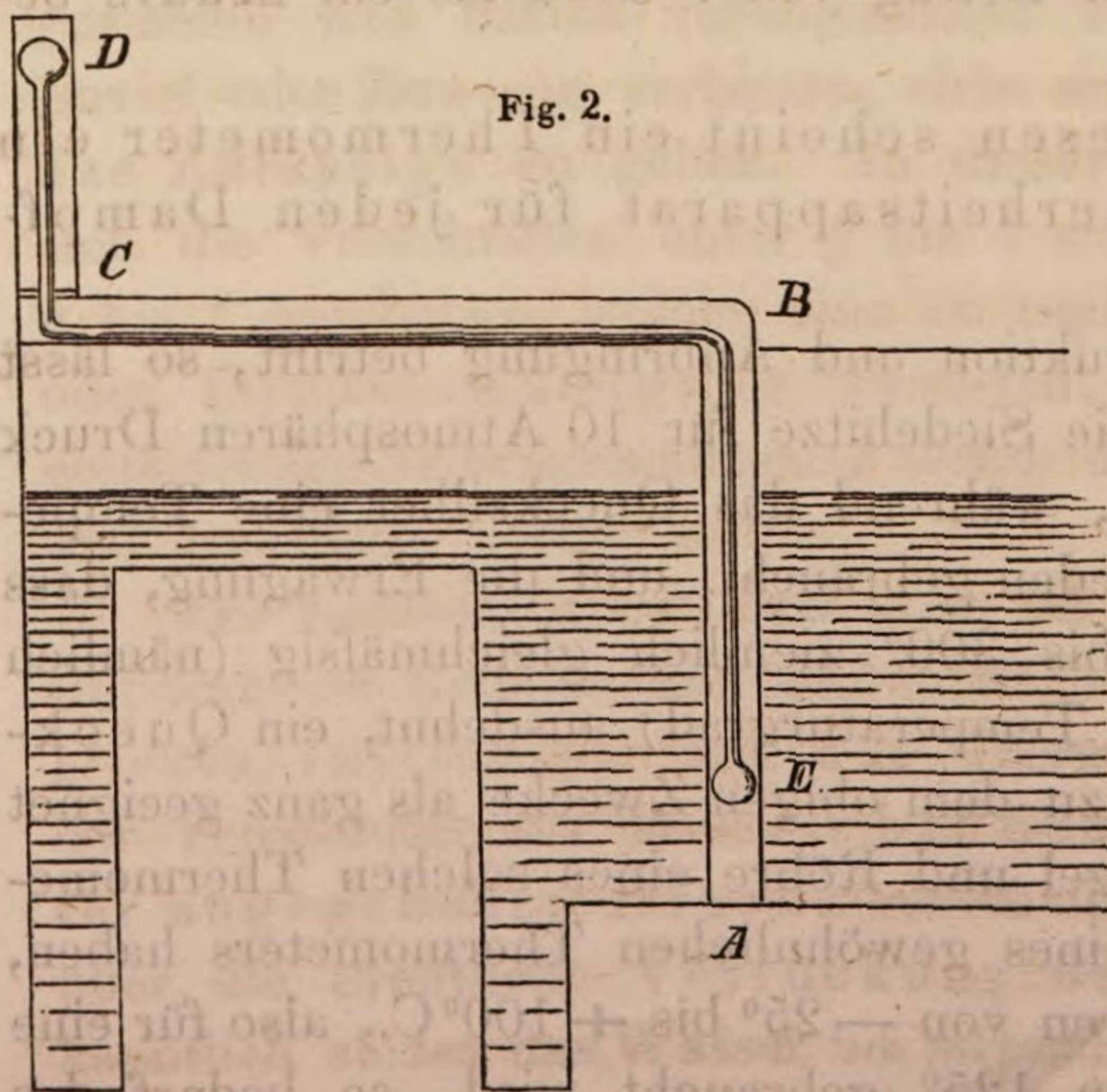
Fig. 1.



Eine in den Kessel gestellte schmiedeeiserne Röhre AD (Fig. 1), welche an ihrem oberen freien Ende CD aufgeschlitzt ist, um die Quecksilbersäule sichtbar zu machen, würde dem gläsernen Thermometer ED vollen Schutz gewähren und auch dessen Einbringen und Herausnehmen leicht gestatten. Da es wünschenswerth ist, an diesem Thermometer die mittlere Temperatur des Wassers zu beobachten, so wird es nützlich sein, die Kugel E nicht zu nahe an die Feuerfläche zu bringen. Bei Lokomotiven würde dieß eine solche Entfernung der Kugel vom Führerstande

bedingen, dass eine gerade Thermometeröhre das Ablesen zu sehr erschwerte. Hier würde sich also eine zweimal geknickte eiserne Röhre $ABCD$ nach Fig. 2 empfehlen, von welcher das vordere Stück CD vorn aufgeschlitzt und bei C aufgeschraubt und der horizontale Schenkel CB oben aufgeschlitzt wäre, damit man das aus

Fig. 2.



einem geknickten Glasrohre bestehende Thermometer *EBCD* leicht einhängen und herausnehmen kann.

Da nach der Voraussetzung die in der Kugel *E* enthaltene Quecksilbermenge überwiegend groß ist, gegen die fadenförmige Quecksilbersäule *ED*, so wird dieses Thermometer im Wesentlichen nur von der bei *E* herrschenden Wassertemperatur, nicht von den in der Linie *ED* stattfindenden Temperaturen affiziert werden.

Es wird nützlich sein, auf der äußeren Skale *CD* gegenüber den Temperaturgraden *t* die Pressungen *p* in Atmosphären anzumerken, unter welchen bei normalen Verhältnissen die gegenüberstehende Temperatur den Siedepunkt des Wassers bezeichnet. Hierdurch wird die Kontrolle ungemein leicht. Zeigt nämlich das Thermometer einen höheren Druck, als das Manometer, so waltet eine entsprechende Verzögerung des Siedepunktes ob, und die Maschine befindet sich in Gefahr.

Die Kenntniss der Temperaturgrade ist überhaupt für den Maschinenführer ohne unmittelbares Interesse. Für ihn ist nur die Kenntniss des Druckes wichtig, welcher bei der vorhandenen Wassertemperatur oder unter den soeben gegebenen Umständen dem Sieden entspricht. Demzufolge könnte die Temperaturskale auch ganz fehlen, oder es käme Nichts darauf an, wenn dieselbe ungenau wäre. Diese Erwägung führt zu dem Schlusse, dass es vielleicht praktischer ist, sich bei der Graduirung des Thermometers um die Temperaturskale gar nicht zu kümmern, sondern für jede Maschine, nachdem das ungraduirte Thermometer eingesetzt ist, die Graduirung der Druckscale unter Beobachtung des Manometers vorzunehmen. Hierdurch wird die Beziehung ganz eliminirt, welche die besondere Form, Einrichtung und Heizung des Kessels zwischen der mittleren Temperatur des Kesselwassers und derjenigen stiftet, welche in der nächsten Umgebung der Thermometerkugel herrscht.

Es fragt sich jetzt, wie das Thermometer zu gebrauchen sei, um überhaupt eine Gefahr der Verzögerung des Siedepunktes zu verhüten, und was zu thun sei, wenn eine solche Gefahr unvermerkt eingetreten ist.

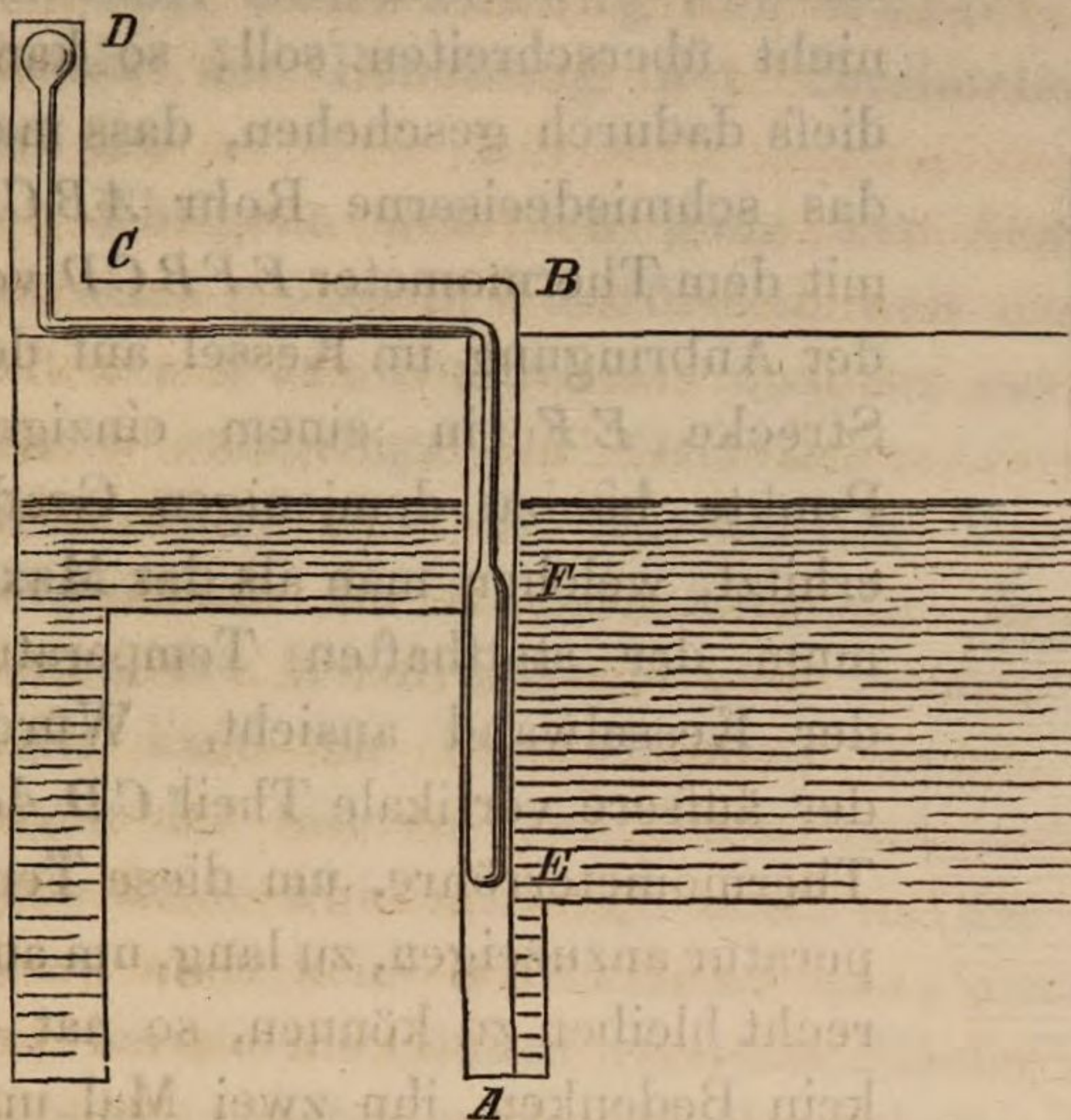
Verhütet kann die Gefahr werden, wenn der Maschinenbetrieb sogleich zweckmässig geregelt wird, sobald der Führer

ein Steigen des Thermometerdruckes über den Manometerdruck wahrnimmt. Es handelt sich jetzt einfach darum, dieses Steigen zu verhüten oder keinen Überschuss des Thermometerdruckes über den Manometerdruck aufkommen zu lassen. Es ist klar, dass dieß nicht durch Mittel erzielt wird, welche den Manometerdruck erniedrigen oder den Thermometerdruck erhöhen, also nicht durch Entlassung oder Verbrauch von Dampf, auch nicht durch verstärkte Zuführung von Wärme zum Wasser, sondern durch Mittel, welche das Gegentheil bewirken, welche also fähig sind, den Dampfdruck zu erhöhen oder die Wassertemperatur zu erniedrigen. Über die Erhöhung des Dampfdruckes lässt sich im Allgemeinen nicht gebieten: es kann also nur nach Erniedrigung der Wassertemperatur unter möglicher Konservirung des Dampfdruckes gestrebt werden. Das hierzu dienliche Mittel heißt Ermäßigung des Feuers unter Verzögerung der Geschwindigkeit der Maschine, also Verengung des Regulators behuf möglicher Erhöhung des Dampfdruckes. Auch ein Nachpumpen von Wasser, wodurch die Wassertemperatur erniedrigt wird, kann zweckmäßig sein.

Wäre unerwartet eine erhebliche Erhöhung des Thermometers über das Manometer eingetreten, so müsste das eben bezeichnete Mittel in verstärktem Maasse angewandt, also nöthigenfalls das Feuer ausgerissen und die Maschine zum Stillstande gebracht werden. Das Gefährlichste in diesem Zustande wäre das Anlassen einer stillstehenden oder die Beschleunigung einer arbeitenden Maschine oder die Schürung des Feuers, weil in den ersteren Fällen der Druck erniedrigt und im letzten Falle die Wassertemperatur noch mehr erhöht, also der Moment einer plötzlichen Verdampfung und Explosion näher gerückt würde.

Durch das eben beschriebene Thermometer wäre also der Gefahr der plötzlichen Verdampfung wegen verzögerten Siedens zu begegnen. Es bleibt jetzt nur noch die Gefahr der plötzlichen Dampfbildung durch glühende Kesselwände zu berücksichtigen. Hierzu würde ebenfalls ein Thermometer nach der Konstruktion *EFBCD* in Fig. 3 geeignet sein. Dieses Thermometer legt sich mit seinem röhrenartig erweiterten Gefäße *EF* unmittelbar an denjenigen Theil der Feuerfläche,

Fig. 3.



welcher vom Feuer am stärksten bespült wird und möglicherweise von Wasser entblößt werden kann. Dieses Thermometer wird immer eine höhere Temperatur anzeigen, als das in das volle Wasser versenkte, man wird daher den zulässigen Quecksilberstand dieses Wandthermometers bei jeder Maschine empirisch ermitteln und anmerken, indem man

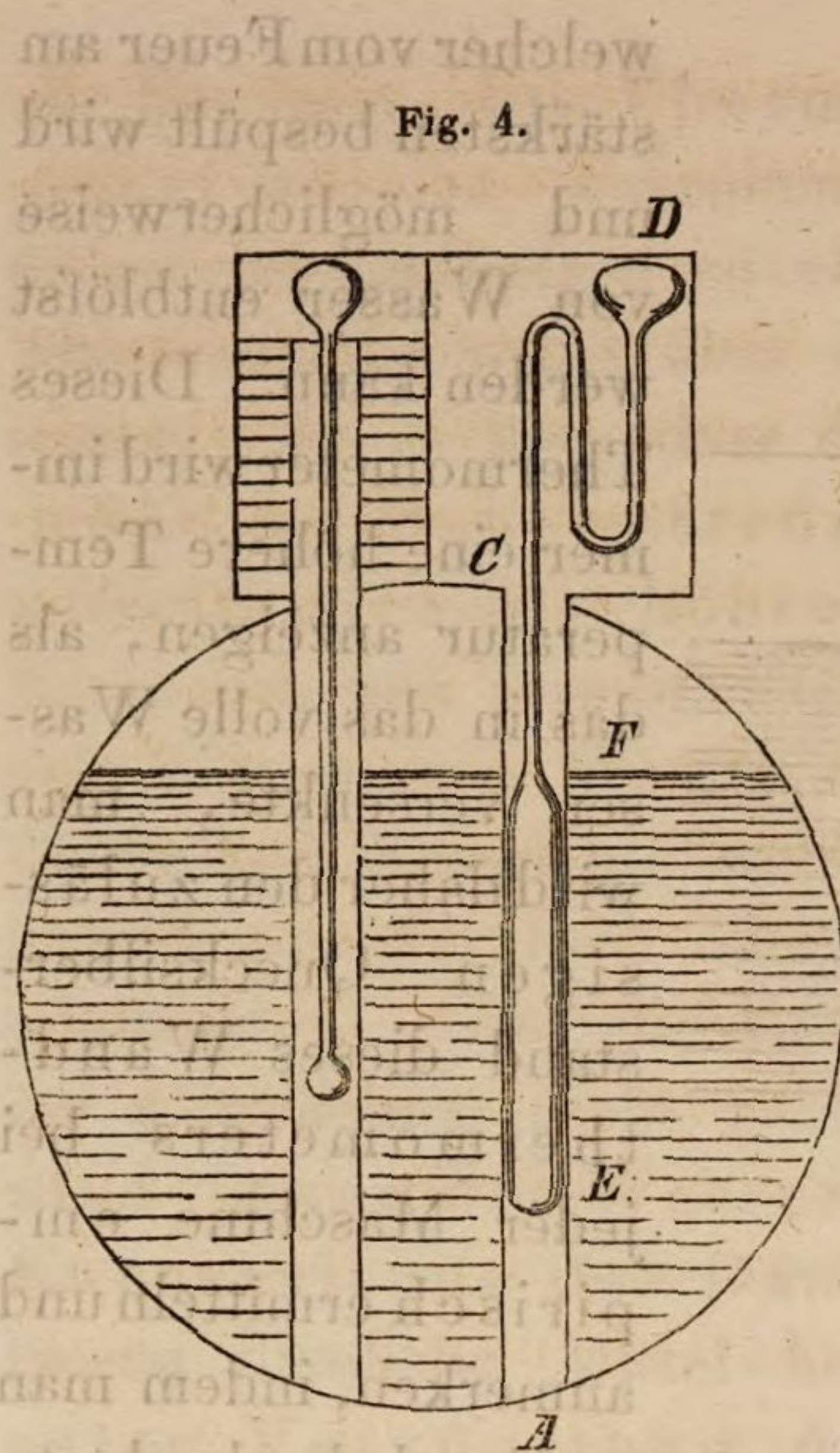
denselben für den höchsten zulässigen Dampfdruck beobachtet.

Ferner wird es gut sein, auch für niedrigere Spannungen das Wandthermometer empirisch zu graduiren, indem man die beim Betriebe der Maschine sich einstellenden Quecksilberstände desselben mit eben derselben Atmosphärenzahl bezeichnet, welche das Wasserthermometer in demselben Augenblicke anzeigt.

Hiernach werden nun beide Thermometer denselben Druck zeigen, solange die Kesselwand EF mit Wasser benetzt ist. Sobald der Wasserstand unter den Punkt F herabsinkt, also ein Theil der Wandfläche trocken wird, wird das Wandthermometer höher steigen als das Wasserthermometer. An diesem Umstande ergiebt sich also als eine Kontrolle für das Wasserstandsglas, welches zuweilen verstopft ist, ob der Wasserstand unter das zulässige Niveau gesunken ist, in welchem Falle Wasser nachzupumpen ist.

Da das Sinken des Wasserstandes unter das gefährliche Niveau mit dem Steigen der Quecksilbersäule über einen gewissen Punkt hinaus verbunden ist, so ließe sich durch die steigende Quecksilbersäule wohl ein Lärmsignal in Thätigkeit setzen, welches sicherer wirkte, als die Blackschen Pfropfen.

Will man durch das Wandthermometer höhere Hitzegrade, insbesondere denjenigen erkennen, welchen die Tempe-



ratur der Kesselwand durchaus nicht überschreiten soll, so kann dieß dadurch geschehen, dass man das schmiedeeiserne Rohr *ABCD* mit dem Thermometer *EFBCD* vor der Anbringung im Kessel auf der Strecke *EF* in einem einzigen Punkte bis zu demjenigen Grade erhitzt, welchen man als das Maximum der statthaften Temperatur der Kesselwand ansieht. Würde der äußere vertikale Theil *CD* der Thermometerröhre, um diese Temperatur anzuzeigen, zu lang, um aufrecht bleiben zu können, so hat es kein Bedenken, ihn zwei Mal umzubiegen, wodurch sich mit dem Wasserthermometer das Arrangement der Skale nach Fig. 4 ergibt.

Die Erweiterung der obersten Mündung der Glasröhre beider Thermometer in eine Sammelkugel ist nothwendig, damit bei unverhofftem Überschreiten der höchsten Temperatur das Quecksilber nicht den Apparat verlassen kann, vielmehr genöthigt ist, bei späterer Abkühlung sich wieder in die Röhre zurückzuziehen.

Würde der Führer unvermerkt von einem Stande des Wandthermometers überrascht, welcher nicht bloß eine bloßgelegte, sondern eine zu stark erhitzte Wandfläche anzeigte, so wäre seine Aufgabe, sofort das Feuer zu dämpfen. Das Ablassen von etwas Wasser, um die Berührung des Wassers mit der überhitzten Wandfläche zu verhüten, kann nützlich sein, wenn das Feuer so weit gemäfsigt ist, dass keine fernere zu starke Erhitzung der Wandfläche zu befürchten ist. Nachpumpen von Wasser muss zur Verhütung einer zu rapiden Dampfbildung bei der Benetzung der glühenden Fläche widerrathen werden. Auch ist es nicht zweckmäfsig Dampf zu entlassen, theils weil hierdurch der Druck ermäfsigt wird, während eine Erhöhung des Druckes zur Verhütung einer plötzlichen Dampfbildung günstiger ist, und weil die Dampfentlassung, z. B. beim Anlassen der Maschine, immer

mit einer Schwankung des Wasserspiegels, also mit der Gefahr der Benetzung der überhitzten Wandfläche verbunden ist.

Übrigens trete ich ganz der Ansicht des Herrn Kaiser bei, dass glühende Wandflächen weit mehr wegen der Möglichkeit des Durchbrennens und der aus einem Leck im Dampfraume entspringenden Druckermäßigung, als wegen der Möglichkeit einer zu lebhaften Verdampfung oder der Möglichkeit der Zersetzung des Wassers und in Folge dessen der Knallgasbildung gefährlich sind. Denn einerseits kann die Dampfbildung durch eine glühende Fläche wegen der fast auf eine Linie sich reduzierenden Benetzungsstelle keine übermäßige und, da das Glühen allmählich beginnt, auch keine plötzliche sein, vorausgesetzt, dass nicht eine bereits ins Glühen versetzte Fläche in grosser Ausdehnung plötzlich benetzt wird. Anderentheils scheinen zur Bildung, zur Entzündung und zur Explosion von Knallgas in einem im Betriebe befindlichen Dampfkessel nach den Ausführungen von Kaiser alle nothwendigen Bedingungen zu fehlen.

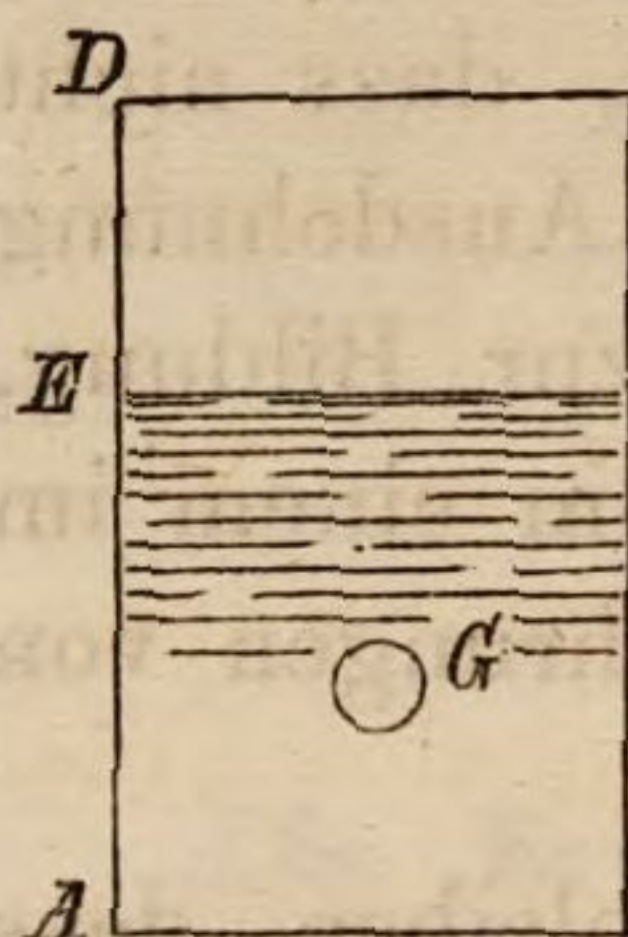
Nach Vorstehendem kann es nicht zweifelhaft bleiben, dass das Thermometer ein unerlässlicher Sicherheitsapparat ist, welcher den bisherigen Apparaten an jedem Dampfkessel noch hinzugefügt werden muss, und dass die Vollständigkeit zwei Thermometer, ein Wasserthermometer und ein Wandthermometer verlangt.

6. Physikalische Betrachtungen über die Verdampfung.

Da die Spannung in einem Dampfkessel vermöge der im Betriebe liegenden Wechsel einer fast ununterbrochenen Schwankung unterworfen ist, so könnte bei der im Vorstehenden geschilderten Gefahr einer jeden Druckermäßigung die verhältnissmäßige Seltenheit der Explosionen auffallend erscheinen. Man sollte hiernach, und da die bisherige Unkenntniss dieser Gefahr den Maschinenführern keine sonderliche Aufmerksamkeit hinsichtlich der Verhütung einer plötzlichen Druckermäßigung auferlegt hat, häufigere Explosionen vermuthen oder auf den Gedanken kommen, dass noch ein besonders erschwerender und darum selten vorkommender Umstand eintreten muss, um aus einer plötzlichen Druckermäßigung eine Explosion zu erzeugen. So scheint es allerdings der Fall zu sein. Ein über die

Wirksamkeit der obigen Vorsichtsmaafsregeln hinaus gehender, absolut wirksamer Schutz gegen Explosionen, der doch andererseits auch die praktische Maschinenführung nicht zu sehr erschwert, kann nur durch ein eingehendes Studium des Siedeprozesses mit allen dabei in Frage kommenden physikalischen und chemischen Nebenumständen erwartet werden. Ich bin weit davon entfernt, diese umfassende Aufgabe vollständig hier lösen zu wollen, was ohnehin auf dem Papiere, ohne entsprechende Experimente, ganz unmöglich sein würde. Nur einige Gesichtspunkte möchte ich für weitere Forschungen und zur vorläufigen Erklärung der Erscheinungen zu eröffnen versuchen.

Fig. 5.



Man vergegenwärtige sich eine Flüssigkeit $ABFE$ (Fig. 5), welche unter einem bestimmten Drucke P gehalten wird und sich in der diesem Drucke entsprechenden Siedetemperatur T befindet. Der Kürze wegen nennen wir den der Siedehitze T entsprechenden Druck P den Siededruck. Man nehme an, ein Tropfen G dieser Flüssigkeit werde durch ein Agens auf eine höhere Temperatur $T+t$ versetzt, und frage sich nach den Folgen. Es ist gewiss, dass der Tropfen G bei der Temperatur $T+t$ unter dem Drucke P nicht in seinem Aggregatzustande verharren kann. Allein zur Dampfbildung ist Wärme erforderlich, welche für das Gefühl und das Thermometer verschwindet oder gebunden (oder nach der neueren mechanischen Wärmetheorie in mechanisches Werk verwandelt) wird. Woher nimmt der in Dampf sich verwandelnde Tropfen diese Wärme? Von der umgebenden Flüssigkeit kann er sie nicht nehmen. Denn angenommen, er thue es, so würde ein Theil dieser umgebenden Flüssigkeit abgekühlt, also unter die Temperatur T herabsinken, während der in Dampf verwandelte Tropfen sich aus der Flüssigkeit entfernt. Dieser Vorgang würde sich nun bei jedem Tropfen wiederholen, welcher etwa durch eine außerhalb des Gefäßes als Feuer wirkende Wärmequelle erwärmt würde. Jeder neue verdampfende Tropfen würde die übrig bleibende Flüssigkeit weiter abkühlen: die siedende Flüssigkeit würde also eben durch das Sieden kälter werden. Diese nothwendige Schlussfolgerung widerspricht der Erfahrung. Die unter kon-

stantem Drucke siedende Flüssigkeit wird nicht kälter, aber auch nicht wärmer; sie bleibt vielmehr fortwährend auf der konstanten Siedetemperatur T , und auch der sich bildende Dampf hat diese Temperatur.

Aus der letzteren Thatsache ergeben sich zwei wichtige Resultate:

- a) Der überhitzte Tropfen nimmt die zur Dampfbildung erforderliche Wärme nicht von der Umgebung, sondern lediglich aus sich selbst.
- b) Er tritt von der in ihm vorhandenen überschüssigen Temperatur Nichts an die Umgebung ab.

Aus dieser letzteren Thatsache, und da der sich entwickelnde Dampf mit der Siedetemperatur T auftritt, ergiebt sich, dass der überhitzte Tropfen G sich nicht vollständig, sondern nur theilweise in Dampf verwandelt. Der verdampfende Theil des Tropfens nimmt den im ganzen Tropfen enthaltenen Wärmeüberschuss t in sich auf und lässt den nicht verdampfenden Theil mit der Siedetemperatur T zurück. Der bei der Temperatur $T+t$ verdampfende Theil des Tropfens ist gerade so groß, dass die zu seiner Verdampfung erforderliche latent werdende Wärmemenge der in dem ganzen Tropfen überschüssig vorhandenen Wärmemenge entspricht.

Der über die Siedehitze vorhandene Wärmeüberschuss des Tropfens wird also nicht durch Leitung auf die Umgebung übergeführt, sondern lediglich auf Dampfbildung verwandt und dadurch gebunden.

Durch das letztere Verhalten unterscheidet sich also eine Wärmemenge, welche einem Körper über die Siedehitze hinaus zugeführt wird, wesentlich von einer Wärmemenge, welche unter der Siedehitze in ihm vorhanden ist. Einen solchen Wärmeüberschuss über die Temperatur der Siedehitze nennen wir haftende Wärme, weil er der Abführung durch Leitung widerstrebt, also an dem Körper, welcher diesen Überschuss zu binden (latent zu machen) strebt, haftet.

Man pflegt in der Physik zwischen latenter oder gebundener und fühlbarer oder freier Wärme zu unterscheiden. Diese Unterscheidung genügt zu allseitiger Charakterisirung des

Wesens der Wärme nicht. Der Gegensatz zwischen freier und gebundener Wärme ist der Gegensatz von Leitungsfähigkeit und Nichtleitungsfähigkeit. Es giebt aber im Bereich der Wärme noch einen anderen Gegensatz, welcher dem Gesetze der Strahlung angehört. Dieser Gegensatz kann Strahlbarkeit und Unstrahlbarkeit oder Flüchtigkeit und Haftbarkeit genannt werden. Derselbe erzeugt die flüchtige und die haftende Wärme, deren Wesen im Nachstehenden näher erläutert werden soll.

Die vorhin bezeichnete haftende Wärme verhält sich nach Vorstehendem wesentlich anders, als die unter der Siedehitze liegende Wärme, welche wir freie Wärme nennen. Die freie Wärme eines Körpers äußert, wenn seine Umgebung auf gleicher Temperatur steht, keine besondere Wirkung; wenn die Umgebung kälter ist, verliert der Körper seine Wärmedifferenz an die Umgebung auf dem Wege der Leitung; wenn die Umgebung wärmer ist, nimmt der Körper Wärme von der Umgebung auf dem Wege der Leitung auf. Der Begriff von freier Wärme beruht also prinzipiell nicht auf einem absoluten Zustande des warmen Körpers, sondern auf einer Beziehung desselben zu seiner Nachbarschaft. Ganz anders liegen die Sachen hinsichtlich der haftenden Wärme. Ihr Begriff wurzelt nicht in einem Verhältnisse zur Umgebung, sondern in einem absoluten Zustande des Körpers. Haftende Wärme äußert bei kälterer Umgebung nicht die Tendenz zum Übergange durch Leitung (insofern diese Umgebung nicht ebenfalls haftende Wärme enthält, in welchem Falle natürlich in dem Verhältnisse des Körpers zu seiner Nachbarschaft die haftende Wärme sich wie freie verhält), sondern die vorherrschende Tendenz der haftenden Wärme ist auf Verwandlung des Aggregatzustandes des von ihr ergriffenen Körpers gerichtet, und sie erfüllt diese Tendenz im Allgemeinen, d. h. wenn nicht erschwerende Umstände vorliegen, eher, als die Neigung zur Ableitung auf den kälteren Nachbarkörper. Umgekehrt bewirkt eine wärmere Umgebung nicht so leicht eine Temperaturerhöhung in dem schon mit haftender Wärme erfüllten Körper, als eine Vergrößerung des verdampfenden Theiles desselben. Haftende Wärme zeigt sich daher weit unabhängiger von der Umgebung als freie Wärme, d. h. ihre Leitungsfähigkeit ist weit geringer, als die der freien Wärme.

Zu den erschwerenden Umständen, welche die Tendenz zur Veränderung des Aggregatzustandes schwächen, gehört vornehmlich der Fall, wo die Umgebung des überhitzten Körpers viel kälter ist, insbesondere wenn diese Umgebung aus gleichartigem Stoffe besteht, dessen Temperatur unter der Siedehitze liegt. Denn in diesem Falle wird die Umgebung immer einen Theil des vom überhitzten Körper gebildeten Dampfes wieder kondensiren und sich dabei erwärmen, oder sie wird dem überhitzten Körper Etwas von seiner Wärme entziehen, sie wird also die Verdampfung verzögern und schwächen und sich dabei erwärmen. Die Erschwerung, welche eine kalte Umgebung bewirkt, wird um so erheblicher sein, ein je besserer Wärmeleiter diese Umgebung ist.

Wie es erschwerende Umstände giebt, so giebt es auch erleichternde. Dieselben bestehen vornehmlich in einer viel wärmeren Umgebung. Denn jetzt wird die Umgebung immer noch etwas Wärme an den überhitzten Körper abgeben, also denselben noch heißer machen, sie wird also die Verdampfung beschleunigen und verstärken und sich dabei abkühlen. Auch die Erleichterung, welche eine sehr warme Umgebung hervorbringt, wird um so bedeutender sein, je besser die Umgebung leitet.

Der normale Verdampfungs- oder Siedeprozess wird hier nach stattfinden, wenn die ganze Flüssigkeit die Siedehitze besitzt und nun von einer äußeren Wärmequelle her einen Wärmezuschuss empfängt.

Alle irdischen Körper realisiren die in ihnen liegenden Naturgesetze nur mit einem gewissen Grade von Vollkommenheit, nicht mit ganzer Vollkommenheit. Demzufolge tritt auch das wahre Wesen der Haftbarkeit und der Flüchtigkeit der Wärme in den irdischen Stoffen nicht ganz rein auf. Für Körper, welche die Naturgesetze vollkommen verwirklichen, hat die Haftbarkeit und die Flüchtigkeit der Wärme lediglich ihre Bedeutung durch ihre Beziehung zum Aggregatzustande, nicht durch ihre Beziehung zu der Temperatur der Umgebung.

Für solche vollkommenen Körper sagen wir, haftende Wärme besitze überall keine Leitungsfähigkeit, sondern bewirke nur Erhöhung des Aggregat-

zustandes ohne alle Rücksicht, ob die Umgebung des überhitzten Körpers wärmer oder kälter ist. Dieses Gesetz wird in der Wirklichkeit nicht genau, sondern nur annähernd erfüllt, indem gewisse erschwerende und erleichternde Umstände entsprechende Abweichungen bedingen.

Hiernach wirkt echte haftende Wärme, da sie nicht leitungsfähig ist, nicht auf das Thermometer und ist mithin auch nicht fühlbar. In der Wirklichkeit erfüllt sich dieser Satz wegen der Unvollkommenheit der Materie zwar nicht ganz streng, aber doch sehr annähernd, nämlich so, dass, wenn die haftende Wärme einem Körper nicht unter erschwerenden d. h. unter solchen Umständen zugeführt wird, welche die Verwandlung des Aggregatzustandes verhindern, sie in der That diese Veränderung des Aggregatzustandes herbeiführt und nicht auf die Umgebung übergeht, selbst wenn die Umgebung kälter ist. Im Allgemeinen wird übrigens ein gewisser Theil der haftenden Wärme durch Leitung auf die Umgebung übergehen, dieser Theil wird aber in einer bestimmten Zeit niemals denjenigen Betrag erreichen, welcher in derselben Zeit durch freie Wärme bei gleicher Temperaturdifferenz nach dem Leitungsgesetze übergeführt wird. Die Leitungsfähigkeit der haftenden Wärme wird also immer viel geringer sein, als die der freien Wärme. Weil sie aber in gewissem Grade stattfindet, so wird sie auf das Thermometer wirken, nur nicht so rasch, als freie Wärme, d. h. es wird längere Zeit erfordern, bis das Thermometer, welches in einer überhitzten Flüssigkeit hängt, die Temperatur derselben annimmt.

Wegen der unvollkommenen Leitungsfähigkeit der haftenden Wärme wird sie auch fühlbar sein, ein überhitzter Körper wird sich aber nicht so heiß anfühlen, als ein nicht überhitzter von gleicher Temperatur. Hieraus erklären sich manche auffallende Erscheinungen, unter Anderem die, dass man in flüssiges Metall ungestraft die Hand tauchen kann, wenn man sie nicht zu lange darin verweilen lässt. Denn die hohe Temperatur des flüssigen Metalls versetzt sofort die äußerste Schicht der Haut mit der darin enthaltenen Feuchtigkeit in den Zustand der Überhitzung. Die zugeführte Wärme, welche in dieser dünnen Schicht als haftende Wärme erscheint, strebt nach Verdampfung der Feuchtigkeit der Haut,

nicht nach Ableitung auf die benachbarten inneren Organe. Demzufolge schützt diese äußerste nervenlose Hautschicht, eben weil sie sofort überhitzt wird, die inneren nervenreichen Organe vor Verbrennung, insofern die Eintauchung nicht so lange dauert, dass die Verdampfung und damit die Verbrennung der äußersten Schicht wirklich erfolgt und eine immer tiefere Schicht in denselben Prozess gezogen wird. Eine weniger heiße Flüssigkeit, besonders eine solche, deren Temperatur nicht weit von 100 Grad C. entfernt ist, kann nicht so ungestraft berührt werden, weil die von dieser Flüssigkeit ausgehende Wärme, welche die äußerste Hautschicht nicht überhitzt, leitend in die Hand eindringt. Auch versteht es sich von selbst, dass man die Hand nicht in solche heiße Flüssigkeiten stecken darf, welche die Haut benetzen, wie Wasser. Denn wenn das 180 Grad heiße Wasser eines Dampfkessels auch wohl ohne sofortige Verbrennung der Hand berührt werden könnte, so bleibt die herausgezogene Hand in Gefahr, von dem hängen bleibenden Wasser nachträglich verbrannt zu werden.

Auf einem ähnlichen Vorgange beruht es, wenn Hüttenleute, wie erzählt wird, mit bloßen Füßen über glühendes Eisen hinwegschreiten können.

Wie die haftende Wärme bei vollkommener Realisirung des fraglichen Naturgesetzes nicht geleitet, sondern nur zur Erhöhung des Aggregatzustandes verwandt und dadurch gebunden oder latent wird, ebenso wird die latente Wärme einem Körper nicht durch Leitung, sondern lediglich bei der Erniedrigung des Aggregatzustandes entzogen und dadurch flüchtig (nicht frei) gemacht.

Nehmen wir an, die Flüssigkeit *ABFE* (Fig. 5) befinde sich auf dem Gefrier- oder Erstarrungspunkte, dessen Temperatur ebenso wie der Siedepunkt von dem Drucke abhängt. Wird der Tropfen *G* weiter abgekühlt, so muss Erstarrung eintreten. Allein hierbei wird latente Wärme entbunden. Diese Wärme theilt sich nicht der Umgebung mit: denn sonst müsste sich beim allmählichen Gefrieren die Temperatur der ganzen Masse allmählich erhöhen, was erfahrungsmässig nicht der Fall ist, indem eine allmählich erstarrende Flüssigkeit, besondere Fälle abgerechnet, auf der Gefriertemperatur

verharret. Demzufolge verbleibt die auftretende Wärme lediglich in dem Tropfen G selbst; es gefriert mithin nicht der ganze Tropfen, sondern nur ein Theil desselben, und zwar ist dieser Theil genau so groß, dass die von ihm entbundene Wärme die ganze Masse des Tropfens auf die Temperatur des Gefrierpunktes versetzen kann. Da diese Wärme, welche von der erstarrenden Masse entbunden wird, nicht in dieser Masse verbleibt, selbst dann nicht, wenn diese Masse von einem Nichtleiter umgeben wäre, so verräth sie eine der freien oder Leitungswärme nicht zukommende Eigenschaft. Der Übergang der entbundenen Wärme auf die Umgebung erfolgt nicht nach dem Leitungsgesetze, sondern sprungartig oder wie durch Strahlung; sie wird bei der Erstarrung unaufhaltsam und ohne Rücksicht auf die Leitungsverhältnisse ausgestoßen. Aus diesem Grunde nennen wir die Wärme in dem Zustande, in welchem sie in Folge der Erniedrigung des Aggregatzustandes bei der Entbindung aus der Latenz, also im Augenblicke nach der Entbindung auftritt, flüchtige Wärme. Ihr Gegensatz ist die haftende Wärme, worunter die Wärme in dem Zustande verstanden ist, in welchem sie in der Tendenz zur Erhöhung des Aggregatzustandes, also im Augenblicke vor der Bindung oder vor dem Latentwerden auftritt.

Für die Erstarrung giebt es ebenfalls erschwerende und erleichternde Umstände. Erschwerung wird durch eine wärmere Umgebung hervorgebracht, indem diese Umgebung den erstarrenden Körper doch etwas erwärmt, also die Erstarrung verzögert und schwächt, indem sie selbst sich abkühlt. Erleichterung wird durch eine kältere Umgebung erzeugt, indem diese Umgebung den erstarrenden Körper noch etwas mehr abkühlt, also die Erstarrung beschleunigt und verstärkt, indem sie selbst sich erwärmt.

Der normale Erstarrungsprozess geht vor sich, wenn die ganze Flüssigkeit sich auf der Erstarrungstemperatur befindet und nun von aussen Wärmeentziehung oder Abkühlung erleidet.

Abgesehen von den aus der Unvollkommenheit der Materie entspringenden Erschwerungen und Erleichterungen, behaupten wir, dass für eine vollkommene Materie die flüchtige Wärme

nicht leitbar ist, dass sie vielmehr unabhängig vom Leitungsgesetze unaufhaltsam den erstarrenden Körper verlässt und sich in der Umgebung verbreitet.

Ist die Umgebung ein sehr schlechter Wärmeleiter, so bildet sie, selbst wenn sie eine niedrige Temperatur hat, einen erschwerenden Umstand für die Aufnahme der flüchtigen Wärme, mithin auch für die Entbindung derselben und demzufolge für die Erstarrung überhaupt, wogegen umgekehrt eine sehr gut leitende Umgebung die Erstarrung befördert. Hierin liegt der Erklärungsgrund für manche Erscheinung, unter Anderem dafür, dass Wasser leichter in Metallgefäßen, als in Thon- und Glasgefäßen gefriert, wenn auch beide derselben Temperatur ausgesetzt sind, ferner, dass die Bedeckung mit einer noch so dünnen nicht leitenden Substanz Pflanzen vor dem nächtlichen Erfrieren auffallend schützt, obgleich sich unter dieser Decke die Gefriertemperatur einstellt — Alles, weil die schlecht leitende Umgebung die Entbindung der latenten Wärme hindert.

Auch eine sehr warme Umgebung ist ein erschwerender Umstand für das Erstarren, weil dieselbe, statt entbundene Wärme aufzunehmen, dem erstarrenden Körper eher Wärme zuführen möchte, wogegen eine sehr kalte Umgebung einen erleichternden Umstand darbietet. Mit großer Wärme kombinirt sich übrigens gute Leitungsfähigkeit der Umgebung, um die Erschwerung möglichst bedeutend zu machen, und ebenso kombinirt sich mit großer Kälte der Umgebung gute Leitungsfähigkeit, um die Erleichterung möglichst erheblich zu machen.

Alles was vorstehend vom Sieden gesagt ist, gilt auch vom Schmelzen, und was vom Erstarren gesagt ist, vom Kondensiren der Gase zu Flüssigkeiten. Nennen wir den Übergang vom starren zum flüssigen und vom flüssigen zum gasförmigen Zustande eine Erhöhung des Aggregatzustandes und den Übergang vom gasförmigen zum flüssigen und vom flüssigen zum starren Zustande eine Erniedrigung des Aggregatzustandes, so sagen wir, dass die Wärme, welche bei der Erhöhung des Aggregatzustandes latent wird, haftende Wärme sei, wogegen die Wärme, welche in einem Körper bei der Erniedrigung des Aggregatzustandes aus der Latenz entbunden

wird, flüchtige Wärme sei. Während die haftende Wärme durch Leiter nicht zu entziehen ist, ist die flüchtige Wärme durch Nichtleiter nicht zurückzuhalten.

Es leuchtet ein, dass Gase niemals haftende Wärme besitzen können, weil eine höhere Verwandlung des Aggregatzustandes in der Natur nicht vorkommt. Gase zeigen im Allgemeinen nur freie Wärme, sie besitzen aber latente Wärme und produziren bei der Kondensation flüchtige Wärme. Flüssigkeiten zeigen in der Regel nur freie Wärme, sie besitzen aber auch latente Wärme; sie nehmen bei der Verdampfung haftende Wärme an und produziren bei der Erstarrung flüchtige Wärme. Starre Körper können keine flüchtige Wärme produziren, weil eine tiefere Verwandlung des Aggregatzustandes nicht vorkommt. Diese Körper zeigen in der Regel freie Wärme und nehmen beim Schmelzen haftende Wärme an, welche in der schmelzenden Flüssigkeit latent wird. Wenn es gewiss wäre, dass starre Körper in keinen tieferen Aggregatzustand übergeführt werden könnten, so müsste man daraus auch schließen, dass sie keine latente Wärme besäßen: jedenfalls ist die latente Wärme der starren Körper, wenn sie überall existirt, für alle jetzt bekannten physikalischen und chemischen Prozesse verschlossen, da in allen diesen Prozessen nur die obigen drei Aggregatzustände eine Rolle spielen.

Beleuchten wir mit diesen Anschauungen den Prozess des Siedens, wie er unter gewöhnlichen Umständen stattfindet. Solange das Wasser noch nicht die Siedehitze hat, verhält sich die vom Feuerherde eindringende Wärme wie freie Wärme, sie sucht sich also nach dem Leitungsgesetze über die davon zunächst ergriffene Masse und ihre Nachbarschaft zu verbreiten. Sowie jedoch in einen an der Heizfläche liegenden Tropfen nur ein klein wenig Wärme eingedrungen ist, erhebt er sich schon von seiner Stelle, weil er spezifisch leichter wird; er kann also nicht überhitzt werden und nicht eher zum Sieden kommen, als bis in der ganzen Flüssigkeit die Siedehitze herrscht. Nachdem dieser Temperaturgrad eingetreten ist, verhält sich ein an der Heizfläche liegender Tropfen in Beziehung auf sein Aufsteigen noch ebenso. Der kleinste Zuschuss von Wärme erhebt ihn: wenn derselbe also auch jetzt in überhitztem Zustande aufsteigt, so ist die Überhitzung doch immer nur sehr gering; er wird

also nur ein wenig Dampf entwickeln können, und es leuchtet ein, dass das Sieden selbst über dem lebhaftesten Feuer doch nur wie ein allmählicher oder stetiger Entwicklungsprozess vor sich gehen wird.

Untersucht man den Vorgang in den kleinen Theilen der bereits auf die Siedehitze gebrachten Flüssigkeit näher, so wirft sich die wichtige Frage auf, ob die an einem Punkte der Heizfläche in einem sehr kleinen Zeittheilchen eindringende Wärme sich nach dem Leitungsgesetze über eine durch dieses Gesetz bestimmte Masse verbreitet, oder ob diese Masse von dem Leitungsgesetze unabhängig ist. Da die eindringende Wärme als haftende Wärme auftreten muss, so schreiben wir dem Leitungsgesetze keine entscheidende, wenigstens nicht die allein entscheidende Herrschaft über ihre Verbreitung in der Flüssigkeit zu, nehmen also an, dass diese Verbreitung nach einem anderen Gesetze vor sich gehe oder mitbedingt werde.

Dieses zweite mitwirkende Gesetz ist unseres Erachtens die Tendenz zur Verwandlung des Aggregatzustandes. Hieraus entspringt das Haften oder der Widerstand gegen Ableitung, wesshalb wir dieses Prinzip auch das Haftungsgesetz nennen können. Das eigentliche Prinzip dieses Gesetzes besteht offenbar darin, dass die eindringende Wärme sich genau auf denjenigen Massentheil konzentriert, welchen sie zu verdampfen fähig ist. Denn diese Wärme, da sie über der Siedehitze vorhanden ist, hat die Tendenz zur Verwandlung des Aggregatzustandes oder vielmehr, sie ruft in der von ihr ergriffenen Masse die Tendenz hervor, sich in Dampf zu verwandeln und dabei jene Wärme zu binden. Es erwacht also in dem Massentheilchen, welches nur ein wenig überhitzt wird, sofort die Begierde zu verdampfen und zu dem Zwecke nicht bloß die vorhandene haftende Wärme zu fesseln, sondern sogar, wenn diese Wärme zur Verdampfung nicht ausreichen sollte, noch von der freien Wärme der Umgebung das fehlende an sich zu reißen. Mit dieser Tendenz zur Fesselung der vorhandenen und zur Heranziehung der noch fehlenden Wärme würde sich aber nicht die Annahme vertragen, dass die vom Feuer eindringende Wärme sich erst über eine größere Masse, als welche sie überhaupt verdampfen oder von welcher sie gebunden werden kann, verbreitete, um sogleich hinterher von der wirklich verdampfenden kleineren Masse wieder zurückgezogen zu werden.

Damit ein Wassertheilchen vollständig verdampfen kann, muss es allerdings auf eine Temperatur von mehr als 600 Grad erhoben werden, weil die latente Wärme des Wasserdampfes etwa $= 5,5$ ist, also etwa 550 Grad bei der Dampfbildung für das Gefühl verschwinden. Die Annahme einer so hohen Temperatur in einem Wassertheilchen könnte Bedenken erregen, weil das Thermometer dieselbe nicht ahnen lässt: allein man darf nicht außer Acht lassen, dass es sich in einem Tropfen nur um Pünktchen von so hoher Temperatur handeln kann, und dass die hohe Wärme eines solchen Pünktchens als haftende Wärme vorhanden ist, welche nur schwer durch Leitung abzuführen ist. Außerdem reduziert sich die Zeit, in welcher diese hohe Wärme als haftende Wärme, das heißt an dem Pünktchen im Zustande der Flüssigkeit existirt, im Allgemeinen auf einen unendlich kleinen Zeitmoment. Die punktweise Konzentration hoher Wärmegrade im Zustande des Haftens erklärt den konstanten Thermometerstand während des Siedens immer noch besser, als die gleichmäßige Vertheilung der zum Sieden erforderlichen Wärme im freien Zustande, und auch eine gleichmäßige Vertheilung der Wärme setzt im Momente des Verdampfens eine Konzentration dieser Wärme auf einen Punkt voraus, nöthigt also ebenfalls zur Annahme momentaner Erzeugung hoher Hitzegrade in einzelnen Punkten.

In der Wirklichkeit mag die punktweise Konzentration hoher haftender Wärme von der Intensität der latenten Wärme nicht in aller Strenge vorkommen, vielmehr mag die Leitungsfähigkeit eine gewisse Vertheilung erzwingen, es mag auch sein, dass ein an der Heizfläche liegendes Massentheilchen unfähig ist, die zu seiner Verdampfung erforderliche große Wärmemenge im Zustande der Flüssigkeit, also als haftende Wärme an sich zu halten, und dass dieses Theilchen schon durch eine geringe Überhitzung in einen Übergangszustand gelangt, während dessen es die fehlende Wärme begierig aus der Heizfläche oder aus der Umgebung saugt und allmählich bindet, sodass die zur Verdampfung erforderliche Wärme allmählich in dieses Theilchen eintritt und daselbst theilweise schon früher latent wird, als der vollständige Gaszustand erreicht ist. In allen Fällen ist der wirkliche Zustand in einem Wassertropfen kurz vor und während des Siedens doch sicherlich

weit von einer gleichmäßigen Wärmevertheilung innerhalb dieses Tropfens entfernt. Jedenfalls muss man sich vorstellen, dass in der Masse eines von der Heizfläche aufsteigenden Wassertropfens eine sehr ungleichmäßige Vertheilung der haftenden Wärme dergestalt stattfindet, dass der Kern weit mehr Wärme angesogen hat, als die ihn umgebende Masse, welche beim Aufsteigen vermöge der Adhäsion mit fortgerissen wird.

Diese Ungleichmäßigkeit der Vertheilung der haftenden Wärme innerhalb eines Tropfens ermöglicht eben die Allmählichkeit des Siedens. Denn das Pünktchen, in welchem das Maximum der Wärme angehäuft ist, verdampft nun ohne Schwierigkeit, indem es vermöge seiner grösseren Begierde zu verdampfen seiner Umgebung die erforderliche Wärmemenge entzieht. Fände aber eine gleichmäßige Vertheilung der Wärme statt, so würde kein einziges Pünktchen in der Begierde zu verdampfen ein Übergewicht haben; es müsste die ihm fehlende Wärme anderen Theilchen entreißen, welche ihrerseits mit gleicher Energie nach Vermehrung ihrer Wärme streben, also die ihnen bereits innewohnende Wärme fest halten. Je gleichmäßiger also die Wärme vom Feuerherde sich über das Wasser vertheilt, desto mehr geht das Sieden stofsweise vor sich, und je ungleichmäßiger die Vertheilung stattfindet, desto allmählicher verdampft das Wasser.

Aus Vorstehendem scheint zu folgen, dass die Verdampfung ausschliesslich oder doch vornehmlich unmittelbar an der Heizfläche erfolge. Diefs würde ganz sicher der Fall sein, wenn der zu verdampfende Körper nicht flüssig, sondern starr wäre, sodass seine Theilchen ihren Ort nicht verlassen könnten. Das Schmelzen, ein ganz analoger Prozess, wobei der seinen Aggregatzustand erhöhende Körper starr ist, geht allerdings unmittelbar an der Heizfläche vor sich. Beim Sieden einer Flüssigkeit wird jedoch der an der Heizfläche erwärmte Tropfen leichter und steigt auf. Beim Aufsteigen gelangt er in Schichten von immer schwächer werdendem Drucke; denn in einer Wassermasse mit freier Oberfläche herrscht der atmosphärische Druck nur in der obersten Schicht, während nach unten der Druck immer mehr zunimmt. Durch das Eintreten in Schichten von geringerem Drucke verdampfen aber die aufsteigenden Was-

sertropfen lebhafter, und mancher Tropfen beginnt erst beim Aufsteigen in einer höheren Schicht zu verdampfen.

Wenn man sich die Gewalt oder die Begierde vergegenwärtigt, womit das verdampfende Wasser die latent werdende Wärme bindet oder verschluckt, auch nöthigenfalls aus der Umgebung an sich reißt, so wird man zu der Annahme gezwungen, dass die haftende Wärme, wo sie einmal vorhanden ist, eine lebhafte Anziehungskraft für Wärme von geringeren Graden hat, dass also die Konzentration der vom Feuerherde eindringenden Wärme auf einzelnen Pünktchen bis zum Sättigungsmomente vor der Verdampfung eine natürliche Folge jener Anziehungskraft ist.

Die Anziehungskraft, welche haftende Wärme auf andere haftende und freie Wärme von niederen und höheren Graden ausübt, ist eine dem Leitungsgesetze ganz fremde Eigenthümlichkeit. Diese Anziehungskraft ist für viele Erscheinungen, insbesondere für die Erklärung der Explosionen von ganz besonderer Wichtigkeit.

7. Anwendung der vorstehenden Resultate auf die Explosionen.

Denkt man sich eine Flüssigkeit ganz gleichmäßig überhitzt, sodass also jedes Theilchen einen gleichen Betrag von haftender Wärme besitzt, so wird jedes Theilchen mit gleicher Energie zu verdampfen, also seinen Nachbartheilchen die zum Latentwerden erforderliche Wärme mit gleicher

Fig. 6.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Energie zu entreißen trachten. Ist *am* in Fig. 6 eine Reihe solcher Theilchen, so wird das Theilchen *e* ebenso energisch den Theilchen *d* und *f*, wie das Theilchen *f* den Theilchen *e* und *g* ihre Wärme zu entreißen trachten. Zwischen je zwei Theilchen *e* und *f* entsteht also eine kalorische Spannung, welche jedes Theilchen verhindert, seine Tendenz zu realisiren, welche also alle Theilchen flüssig und zugleich in der Begierde zu verdampfen erhält. Erhielte jetzt auf irgend eine Veranlassung irgend ein Theilchen, z. B. *e* das Übergewicht, so würde mit einem Male die Spannung in der ganzen Reihe aufhören. Denn indem *e* die Wärme von *d* und *f* an sich zieht, wird *g* nicht mehr von *f* gefesselt; das Theilchen *h* wird also das Übergewicht über *g* bekommen und

dessen Wärme anziehen. In Folge dieser Anziehung häuft sich in h eine grössere Wärmemenge an, wodurch h kräftiger gegen i wird und auch dessen Wärme an sich zieht. Auf diese Weise konzentriert sich also alle Wärme sukzessive in den Theilchen b , e , h , l ; diese Konzentration pflanzt sich von e aus nach beiden Seiten längs der Reihe am mit einer Geschwindigkeit fort, welche von der Intensität der in jedem Theilchen vorhandenen haftenden Wärme abhängig sein mag, aber gewiss schon bei einer mässigen Intensität dieser Wärme so rapide ist, dass man sie eine plötzliche nennen kann. Gleichzeitig mit dieser Konzentration geht die Verdampfung der Theilchen b , e , h , l vor sich.

In den Fall der Reihe am wird nun der unter dem Drucke P siedende Inhalt eines Dampfkessels versetzt, wenn mit einem Male dieser Druck ermässigt wird: denn alsdann erscheinen sämtliche Wassertheile im überhitzten Zustande oder mit haftender Wärme erfüllt; sie haben alle gleichzeitig das Bestreben zu verdampfen, werden aber alle durch ihre Nachbarn daran verhindert, weil jedes Theilchen dem anderen die haftende Wärme behuf der Bindung zu entreissen trachtet. Je bedeutender die Ermässigung des Druckes P ist, desto grösser ist die Menge der haftenden Wärme in jedem Theilchen, desto stärker also die eben bezeichnete Spannung und desto plötzlicher und erheblicher die Verdampfung, welche in Folge irgend einer Störung jener Spannung eintritt.

Ein Dampfkessel, in welchem der Dampfdruck rasch ermässigt wird, befindet sich also immer in der Gefahr der Explosion. Warum findet aber in solchen Fällen, welche bei dem Maschinenbetriebe doch sehr häufig vorkommen, nicht immer, vielmehr nur selten eine Explosion wirklich statt? Dieß hat wesentlich folgende zwei Ursachen.

Die Wärmevertheilung im Kessel ist wegen des ungleichen Zutrittes der Wärme durch die einzelnen Punkte der Heizfläche und wegen der beim Sieden stattfindenden Strömungen im Wasser niemals ganz gleichmässig. Bei der Ermässigung des Druckes P werden also manche Theilchen stärker mit haftender Wärme beladen sein als andere, und manche Theilchen werden von der Heizfläche mehr haftende Wärme empfangen als andere. Die am stärksten erhitzten Theilchen werden also zuerst verdampfen und gradatim werden die weniger heißen an die Reihe kommen. Die Verdampfung der Theilchen von

gleicher Wärme wird allerdings sehr rasch und fast plötzlich vor sich gehen: da aber die Zahl dieser heißesten Theilchen im Allgemeinen klein ist, so wird ihre Verdampfung keinen zu starken Stoß geben, also den Kessel nicht zertrümmern; gleichwohl wird sie mit derselben Schnelligkeit, womit sie erfolgt, den Druck im Kessel steigern und damit die Neigung des Wassers zu fernerer Verdampfung vermindern, bis diese Neigung in dem Augenblicke, wo der Druck den Betrag P erreicht, sogar ganz erlischt.

Zuweilen kann sich in den ersten Augenblicken plötzlich sogar mehr Dampf entwickeln, als unter dem Drucke P im Dampfraume verharren kann. Alsdann wird sich der plötzlich zu viel gebildete Dampf rasch wieder kondensiren.

Die auf der ungleichmäßigen Vertheilung der haftenden Wärme beruhende rasche Verdampfung der allerheißesten Wassertheilchen, deren Menge nicht so groß ist, um eine übermäßige Erschütterung zu erzeugen, und die durch diese Verdampfung bewirkte rasche Wiedererhebung des Druckes auf den früheren Betrag, womit alle fernere Tendenz zur Verdampfung unterdrückt ist, bildet also die erste wesentliche Ursache, welche selbst eine erhebliche eingetretene Gefahr einer Explosion in den meisten Fällen eher wieder aufhebt, als der Ausbruch erfolgt.

Die zweite schützende Ursache besteht darin, dass, weil jedes Wassertheilchen die ihm innewohnende haftende und freie Wärme mit einer gewissen Kraft festhält, ein benachbartes Theilchen erst in einem bestimmten Maasse überhitzt sein muss, ehe es fähig ist, seinen Nachbarn die zur Verdampfung erforderliche Wärme zu entreißen. Wenn also auch in der obigen Reihe *am* der überhitzten Wassertheilchen durch Entladung an einer Stelle *e* die Theilchen *d* und *f* ihre haftende Wärme ganz eingebüßt hätten, so kann eine rapide Fortpflanzung dieser Entladungen durch die ganze Reihe, also eine Konzentration der haftenden Wärme in den Theilchen *b*, *h*, *l* u. s. w. doch nur dann entstehen, wenn die in diesen Theilchen vorhandene haftende Wärme einen gewissen Grad übersteigt, wenn also die Druckermäßigung einen gewissen Betrag erreicht hat.

Hieraus folgt, dass geringfügige Druckermäßigungen keine Gefahr zur Explosion herbeiführen,

indem die daraus entstehende Dampfentwicklung nicht ganz plötzlich erfolgt.

Andererseits ist die Beobachtung von Parkes, dass unter 23 Explosionen 19 beim Anlassen der Maschine erfolgten, ein sprechender Beleg für die Grösse der mit plötzlicher Druckermäßigung verbundenen Gefahr.

Es wird nützlich sein, die in der Praxis vorkommenden Verhältnisse nach ihren Zahlwerthen etwas näher zu untersuchen. Angenommen, ein Hochdruckkessel befinde sich unter einem Überdrucke von 6 Atmosphären = pp. 90 Pfund pro Quadratzoll, also unter einem inneren Drucke von 7 Atmosphären im Sieden, sodass seine Temperatur 166,5 Grad C. beträgt, und der Druck werde plötzlich um 1 Atmosphäre oder pp. 15 Pfund pro Quadratzoll ermäßigt. Da die Siedetemperatur für den Druck von 6 Atmosphären etwa 160,2 Grad beträgt, so ist jetzt jedes Wassertheilchen mit haftender Wärme von 6,3 Grad belastet. Die zum Verdampfen unter diesem Drucke erforderliche latente Wärme beträgt etwa 495 Wärmeinheiten (d. h. Wärmemengen, womit die Temperatur der Gewichtseinheit Wasser um 1 Grad erhöht werden kann). Hieraus folgt, dass sich in jedem Wassertheilchen als haftende

Wärme $\frac{6,3}{495} = \frac{1}{78}$ von derjenigen Menge vorfindet, welche zur Verdampfung erforderlich ist; es kann mithin von der ganzen im Kessel befindlichen Wassermasse der 78ste Theil vermöge der vorhandenen haftenden Wärme verdampft werden. Das Volum, welches der bei 6 Atmosphären entstehende Dampf einnimmt, ist etwa 340 mal so groß, als das Volum des Wassers, woraus er gebildet wird. Die haftende Wärme des Kesselwassers vermag also eine Dampfmenge zu erzeugen, deren Volum $\frac{340}{78} = 4,3$ mal so groß ist, als der Inhalt des Wasserraumes, oder 43mal so groß als der Dampfraum, wenn man den Dampfraum etwa zum 10ten Theile des Wasserraumes annimmt.

Dass die plötzliche Entwicklung einer Dampfmenge, deren Volum 43mal so groß ist als der Entwicklungsraum, den Kessel explosionsartig zersprengen würde, scheint unzweifelhaft zu sein. Fragen wir uns nun aber ferner, welches Wasserquantum durch seine Verdampfung sofort die Gefahr dieser Explosion beseitigen würde.

Durch die Druckermäßigung von 7 auf 6 Atmosphären ist der 7te Theil des Dampfes entfernt; es fehlt also ein Dampfquantum, dessen Volum $\frac{1}{7}$ des Dampfraumes ausmacht, um den Druck von 7 Atmosphären wiederherzustellen. Da die im Kesselwasser enthaltene haftende Wärme fähig ist, den 43fachen Dampfraum mit Dampf zu erfüllen, indem dabei der 78ste Theil des Wassers verdampft; so braucht von allem verdampfungsfähigen Wasser nur $\frac{1}{7 \cdot 43} = \frac{1}{301}$ zu verdampfen, um den Druck von 7 Atmosphären wiederherzustellen und damit die Gefahr der Explosion zu beseitigen. Nimmt man an, der Kessel enthalte 160 Kubikfuß Wasser; so können davon durch die vorhandene haftende Wärme 2 Kubikfuß verdampft werden; es reicht aber die Verdampfung von $\frac{2}{300} = \frac{1}{150}$ Kubikfuß oder von 11 Kubikzoll hin, um die Gefahr der Explosion aufzuheben.

Bei lebhaftem Feuer während der Fahrt kann eine Lokomotive 80 Kubikfuß Wasser in der Stunde, also 38 Kubikzoll in der Sekunde verdampfen. Hieraus folgt, dass ein lebhaftes Feuer im Stande ist, das Wasserquantum von 11 Kubikzoll, womit die Gefahr der Explosion beseitigt wird, in kürzerer Zeit als $\frac{1}{3}$ Sekunde zu verdampfen. Ein mattes Feuer während langer Stillstandszeit, welches nur 2 Kubikfuß Wasser in der Stunde verdampft, gebraucht zu dem letzteren Effekte 40 mal so viel Zeit, also 12 Sekunden.

Dieses Beispiel macht sowohl die Gröfse der Gefahr, als auch die Leichtigkeit ihrer Beseitigung durch allmähliche Verdampfung anschaulich; dasselbe erläutert gleichzeitig die intensive Wirkung der Explosionen und die Seltenheit ihres Ausbruches.

Außerdem geht aus der Berechnung der Zeit für die Wiederherstellung des normalen Dampfdruckes durch die Wirkung des Feuers hervor, dass Maschinen, welche sich in voller Thätigkeit oder überhaupt in lebhaftem Feuer befinden, die Gefahr einer Explosion weit leichter überwinden können, als Maschinen, welche sich im Stillstande oder überhaupt in mattem Feuer befinden. Dieses Resultat wird durch die häufigen Explosionen beim Anlassen der Maschinen vollkommen bestätigt.

Denkt man sich, die vorstehend betrachtete Druckermäßigung um 1 Atmosphäre finde in einem Niederdruckkessel statt, in welchem eine Spannung von 1 Atmosphäre Überdruck oder von 2 Atmosphären innerem Druck, also eine Temperatur von 121,4 Grad herrsche. Da einem Drucke von 1 Atmosphäre die Siedetemperatur von 100 Grad entspricht; so hat jetzt jedes Wassertheilchen 21,4 Grad haftende Wärme, und da die zum Verdampfen erforderliche latente Wärme etwa 540 beträgt, so kann durch die vorhandene haftende Wärme der $\frac{540}{21,4} = 25$ ste Th.

des Kesselwassers in Dampf verwandelt werden. Dampf von 1 Atmosphäre Spannung nimmt etwa 1700mal so viel Raum ein, als das Wasser, woraus er gebildet ist. Der verdampfende 25ste Theil des ganzen Kesselwassers würde also $\frac{1700}{25} = 68$ mal

den Wasserraum oder 680mal den Dampfraum mit Wasserdampf von 1 Atmosphäre Spannung und 36mal den Wasserraum oder 360mal den Dampfraum mit Wasserdampf von 2 Atmosphären Spannung füllen können.

Bei gleicher Druckermäßigung wird also in diesem Niederdruckkessel dreimal soviel Wasser verdampfungsfähig, als in dem vorhin betrachteten Hochdruckkessel. Hieraus geht hervor, dass Niederdruckkessel der Gefahr der Explosion durch Druckermäßigung in höherem Grade ausgesetzt sind, als Hochdruckkessel. So auffallend dieses Resultat klingt, so scheint es doch in der Erfahrung seine vollkommene Bestätigung zu finden, da die Explosionen der mit hohem Drucke arbeitenden Lokomotiven viel seltener sind, als die der industriellen Niederdruckmaschinen.

Man kann aus dem letzten Beispiele den Schluss ziehen, dass die Gefahr der Explosion, welche in einem mit 1 Atmosphäre Überdruck betriebenen Dampfkessel durch die Druckermäßigung um 1 Pfund pro Quadratzoll herbeigeführt wird, etwa ebenso groß ist, als diejenige, welche in einem mit 6 Atmosphären Überdruck betriebenen Dampfkessel durch die Druckermäßigung um 3 Pfund pro Quadratzoll entsteht, und allgemein etwa ebenso groß, als diejenige, welche in einem mit n Atmosphären Überdruck betriebenen Dampfkessel durch die Druckermäßigung um $\frac{n}{2}$ Pfund pro Quadratzoll entsteht.

Wenngleich das bei einer Explosion durch Druckermäßigung verdampfende Wasser in den vorstehenden beiden Beispielen den 43- bis 680fachen Dampfraum füllen könnte, also bei seiner plötzlichen Entwicklung einen energischen Stofs auszuüben fähig ist, welcher nicht bloß die Kesselwände zerreißen, sondern auch die Stücken derselben weit wegschleudern könnte; so braucht man doch nur anzunehmen, dass jener Stofs lediglich den Kessel in einzelne Stücke zertrümmere, um in der normalen Dampfspannung hinreichende bewegende Kraft zur Fortschleuderung der einzelnen Stücke vorzufinden. Es ist nützlich, sich die Wirkung des Dampfdruckes auf ein isolirtes Stück der Kesselwand rechnungsmäßig vorzuführen.

In dem Kessel mit 6 Atmosphären Überdruck wirkt auf jeden Quadratzoll eine Kraft von 90 Pfund. Ein Quadratzoll des Kesselbleches wiegt etwa $\frac{1}{6}$ Pfund; der Dampfdruck als bewegende Kraft ist also 540mal so stark, als die Schwere. Wird dieses Stück von 1 Quadratzoll Querschnitt bei einer Explosion plötzlich isolirt, so treibt es der innere Dampf fort. Wenngleich nun der aus dem zertrümmerten Kessel entweichende Dampf sich rasch ausbreitet und seine Wirksamkeit gegen die zersprengten Stücke verliert, so kann man doch wohl annehmen, dass derselbe mindestens auf eine Strecke von 4 Zoll $= \frac{1}{3}$ Fuß unausgesetzt mit nahezu gleicher Kraft auf diese Stücke wirkt und dieselben gleichmäßig beschleunigt. Die Schwere allein ertheilt einem Körper, wenn sie auf die Strecke von $\frac{1}{3}$ Fuß auf ihn wirkt, die Geschwindigkeit $\sqrt{2g \cdot \frac{1}{2}} = 4,5$ Fuß pro Sekunde. Eine 540mal so starke bewegende Kraft ertheilt also dem Körper auf diese Strecke eine $\sqrt{540} = 23$ mal so große Geschwindigkeit, also die Geschwindigkeit von $23 \cdot 4,5 = 104$ Fuß pro Sekunde. Mit dieser Anfangsgeschwindigkeit würde das fortgeschleuderte Stück 169 Fuß hoch vertikal in die Höhe getrieben werden, und was von einem Stücke von 1 Quadratzoll gilt, gilt auch von einem Stücke von 2 Quadratfuß, welches ein Gewicht von fast 6 Zentner hat.

Diese Rechnungen erläutern zur Genüge die bei der Explosion der Lokomotive Magdeburg vorgekommenen mechanischen Effekte. Das letzte Exempel lehrt jedoch, dass das Fortschleudern einzelner Kesselstücke auf große Entfernungen,

welches bei vorkommenden Explosionen vornehmlich das Erstaunen zu fesseln pflegt, durchaus keinen ungewöhnlichen mechanischen Effekt verräth, dass diese Wurfbewegung vielmehr von der normalen Dampfspannung vollbracht werden kann, wenn nur erst der Kessel in Stücke zerrissen ist. In Wahrheit besteht der größte und eigentliche Effekt der Explosion in der Zertrümmerung des Kessels; hierzu sind ganz andere, als die normalen Dampfkkräfte, nämlich plötzliche und energische Stöße erforderlich.

Diese Stöße gehen von den plötzlich verdampfenden Wassertheilchen aus. Diese Theilchen sind über die gesammte im Wasserraume enthaltene Wassermenge gleichmäfsig vertheilt: die Explosion geht also nicht von einem Punkte aus, sondern findet in allen Punkten des Kesselwassers statt. Wenn gleich sich die Wirkung dieser Explosion in Folge der wirklich eintretenden Verdampfung auch durch den Dampfraum fortpflanzt, so äußert sie sich doch zuerst und auch am energischsten im Wasserraume, weil die Fortpflanzung durch das unpressbare Wasser eine viel raschere ist, als durch den elastischen Dampf. Demzufolge explodirt vornehmlich der Wasserraum, nicht so sehr der Dampfraum, wenigstens empfängt der Wasserraum den direktesten Explosionsstofs.

Hieraus erklären sich die gewöhnlichen vertikal nach unten und nach den Seiten oder nach vorn und hinten gerichteten erheblichen Wirkungen der Explosionen, während doch die Form und Lage des Dampfraumes vorzugsweise und fast ausschließlich vertikale Wirkungen nach oben vermuthen liefs.

Die letztere Bemerkung hebt die weiter oben empfohlene Vorsichtsmaafsregel der besonders soliden Herstellung des Dampfraumes durchaus nicht auf. Denn diese Maafsregel hat den Zweck, das Aufreißen des Dampfraumes durch gewöhnlichen Druck und die daraus entspringenden Explosionen zu verhüten, nicht etwa eine ausbrechende Explosion unschädlich zu machen, wozu gewöhnliche Blechdimensionen überall nicht ausreichen würden.

Jetzt handelt es sich um die Frage, ob es Einrichtungen giebt, durch welche eine plötzliche Druckermäfsigung, wenn sie unvermerkt eingetreten ist, auch ohne direktes Zuthun des Maschinenführers möglichst unschädlich gemacht wird. Da es be-

günstigende und erschwerende Umstände giebt, so muss es auch Dispositionen geben, mit welchen stets erschwerende Umstände verbunden sind; solche Dispositionen wirken als Schutzmittel.

Für ganz besonders wirksam würde ich eine solche Einrichtung der Feuerung halten, welche den Wassertheilen die Wärme sehr ungleichmässig zuführt, dergestalt, dass an einer ziemlich kleinen, nahe am Wasserspiegel gelegenen Stelle fortwährend eine viel stärkere Hitze entwickelt wird, als an allen übrigen Stellen. Hierdurch würde nämlich bewirkt werden, dass eine plötzliche Druckermässigung möglichst rasch durch die lokale Verdampfung an der bevorzugten Stelle, also durch eine möglichst allmähliche Verdampfung einer möglichst kleinen Wassermenge wieder ausgeglichen und eine kalorische Spannung zwischen sämtlichen Wassertheilchen möglichst verhütet würde, indem die intensive lokale Verdampfung eine allgemeine Verdampfung in allen Punkten des Kessels nicht erforderlich macht und dadurch vor einer übermässigen und plötzlichen Verdampfung schützt.

Durch die Einrichtung der Feuerung einer Lokomotive, welche das stärkste Feuer in einer ringsum abgeschlossenen und fast bis an den Wasserspiegel hinaufreichenden Feuerkiste konzentriert, wird die vorstehende Bedingung jedenfalls besser erfüllt, als durch die Heizvorrichtungen der meisten anderen Dampfmaschinen. Ausserdem ist die Verdampfung in einer Lokomotive vermöge der zahlreichen engen Siederöhren eine sehr lebhafte. Diese beiden Umstände, in Verbindung mit dem obigen Vortheile, welchen der Hochdruckkessel vor dem Niederdruckkessel voraus hat, liefern die Erklärung zu der relativen Seltenheit der Explosionen der Lokomotivkessel.

Die Bezeichnung einer Konstruktion, welche eine energische lokale Verdampfung am besten herbeiführt, überlasse ich dem Erfindungsgeiste der Maschineningenieure.

Ausser dieser Einrichtung dürfte aber auch eine solche Vorrichtung nützlich sein, welche den Austritt des Dampfes aus dem Kessel in das Dampfrohr unter einer bestimmten Minimalspannung ganz unmöglich machte, welche also das Herabsinken des Druckes unter ein bestimmtes Maass durch ein zu ungestümes Anlassen der Maschine verhinderte. Dieser Zweck

wäre z. B. dadurch zu erreichen, dass der Dampf durch ein Sicherheitsventil von bestimmter Belastung in das Dampfrohr träte. Allerdings würde es nöthig werden, die Feder dieses Auslassventils vom Führerstande her leicht regulirbar zu machen, sodass die Arbeit der Maschine mit niedrigerem Drucke im Kessel nicht ein für alle Mal unmöglich gemacht oder zu sehr erschwert würde. Vollkommen wäre ein solches Ventil, welches sich durch den Dampfdruck im Kessel selbst dergestalt regulirte, dass es immer nur Dampf durchliesse, dessen Spannung um nicht mehr als einen bestimmten Betrag oder als einen bestimmten Theil niedriger wäre, als die augenblickliche Spannung im Kessel.

Wenn vor oder hinter einem solchen Ventile der Regulator noch so unvorsichtig gebraucht würde, könnte der Druck im Kessel doch nicht unter das Maafs des letzteren Ventils herabsinken.

Dieses Ventil, sowie auch die vorhin besprochene Einrichtung einer energischen lokalen Verdampfung können nur als Schutzmittel für den Fall einer plötzlichen Druckermässigung angesehen werden. Würde der Siedepunkt durch die momentane chemische Beschaffenheit des Wassers oder überhaupt durch solche Umstände verzögert, welche eine allmähliche Steigerung der Temperatur ohne entsprechende Zunahme der Dampfspannung zuließen; so würden die letzteren Hilfsmittel unwirksam werden und nur das früher beschriebene Thermometer könnte den gefährlichen Zustand verrathen.

Auf den letzteren Fall finden dieselben Betrachtungen Anwendung, welche über die Wirkung einer plötzlichen Verdampfung angestellt sind. Demnach muss in einem solchen Falle, wenn derselbe durch das Thermometer angezeigt wird, das Bestreben des Führers auf Erhöhung, nicht auf Erniedrigung des Druckes im Kessel gerichtet sein. Dieß erfordert möglichste Belegung des Feuers und möglichste Abspernung des Dampfes, und es ist klar, dass auch für diesen Fall die zuletzt besprochene Heizvorrichtung und das Sicherheitsventil im Dampfrohre Nutzen schaffen können.

Die Mittel, welche eine allmähliche Verzögerung des Siede-

punktes verhüten können, werden durch Chemiker und Physiker zu ermitteln sein. Wahrscheinlich ist Ruhe des Wassers ein begünstigender und starke Bewegung desselben ein erschwerender Umstand bei dieser Verzögerung. Ja, selbst bei einer plötzlichen Druckermäßigung wird das in Bewegung begriffene Wasser einer laufenden Lokomotive eher eine allgemeine kalorische Spannung verhüten und rascher durch lokale Verdampfung den normalen Druck wiederherstellen, als das in Ruhe begriffene Wasser einer still stehenden Maschine. Es ist also möglich, dass dieselbe Druckermäßigung in einer laufenden Lokomotive nicht so leicht eine Explosion herbeiführt, als in einer stillstehenden Maschine.

Aus allem Vorhergehenden leuchtet ein, dass sich die eigentlichen Dampfkesselexplosionen immer auf ein Missverhältniss zwischen Temperatur und Dampfdruck und auf die hierdurch veranlasste plötzliche Verdampfung zurückführen lassen, dass aber dieses Missverhältniss durch eine Menge verschiedener Veranlassungen, z. B. durch einen Bruch des Kessels, durch ein Leckwerden desselben, durch zu rasche Dampfentlassung, durch eine chemische Veränderung des Wassers u. s. w. herbeigeführt und in seinem Effekte durch eine große Zahl mannichfaltiger Umstände modifizirt, bald verschlimmert, bald gehemmt, bald sogar völlig neutralisirt werden kann. Die obigen Erörterungen erklären ebenso gut die überraschend zerstörende Wirkung, als auch das gänzliche Ausbleiben einer Explosion unter scheinbar gleichen Verhältnissen, überhaupt die Seltenheit der Explosionen. Um eine spezielle Explosion zu erläutern, muss Vieles bekannt sein, was sich oftmals der Wahrnehmung entzieht. Ohne genaue Kenntniss aller einschlagenden Verhältnisse kann daher mancher Vorfall räthselhaft bleiben; wie es scheint, reduziert sich jedoch die Anzahl der nach Obigem nicht sofort erklärbaren Vorkommnisse auf eine so kleine Zahl, dass man berechtigt ist, die Unerklärbarkeit solcher Fälle der Unkenntniss oder der Täuschung über wesentliche Umstände zuzuschreiben. Zur Erläuterung der bei den Explosionen vorkommenden speziellen Erscheinungen wird es daher noch eines aufmerksamen Studiums der Nebenumstände bedürfen. Jeder eigenthümliche Fall, der in seinen Ursachen gehörig erkannt ist, wird dann eine besondere Vorschrift für den Bau oder den Betrieb der Dampfmaschinen liefern. Einige

eigenthümliche Fälle dieser Art erlaube ich mir noch im Nachstehenden hervorzuheben.

Es ist bekannt, dass fünf kommunizirende Dampfkessel durch das Leckwerden des einen nacheinander explodirt sind, und dass ein gleicher Fall an drei kommunizirenden Kesseln vorgekommen ist (Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, Bd. VIII, S. 192). Die durch das Leck des ersten Kessels erzeugte Druckermäßigung erklärt die Explosion dieses ersten Kessels, aber nicht die Explosion der übrigen. Wollte man annehmen, die im ersten Kessel erzeugten explosiven Kräfte hätten sich als Vibrationssysteme durch die Dampfrohre nach allen übrigen Kesseln fortgepflanzt; so müsste die Explosion aller Kessel eine fast momentane gewesen sein, weil eine ungemein rasche Fortpflanzung in der Natur solcher Vibrationssysteme liegt. Die Fortpflanzung muss nahezu mit der Geschwindigkeit der Schallwellen vor sich gehen, also durch die Dampfrohre etwa mit einer Geschwindigkeit von 1000 Fuß in der Sekunde. Aber selbst wenn die beobachtete Zeitfolge bei der Explosion jener Kessel mit dieser Geschwindigkeit nicht im Widerspruch stände, ist die Fortpflanzung erheblicher Explosionseffekte durch enge Dampfrohre sehr unwahrscheinlich. Jede namhafte Verengung eines Raumes, in welchem sich eine explodirende Masse befindet, bewirkt eine Brechung der Explosionswellen, bildet also einen wirksamen Damm gegen die Fortpflanzung der Explosion: ein lose auf die Mündung eines Gewehres gelegter leichter Körper und das auf das Sprengöl eines Bohrloches gegossene Wasser werden bei der Explosion nicht hinausgeschleudert, sondern dämmen die Wirkung derselben in den inneren Raum ein, dessen Wände zertrümmert werden.

Daher kann man nur annehmen, dass die folgenden Kessel erst dann explodirt sind, nachdem die Spannung in ihnen durch das Ausströmen des Dampfes um einen gewissen Betrag ermäßigt ist.

Das merkwürdige Vorkommen bei der anfangs beschriebenen Explosion der Lokomotive Magdeburg, wonach nur der zylindrische, also der stärkste Theil des Kessels zertrümmert, die von doppelten vertikalen und horizontalen Wänden umschlossene Feuerkiste, also der schwächste Theil des Kessels unverseht geblieben ist, liefert ebenfalls eine Bestätigung dafür, dass eine wahre Explosion vornehmlich den zunächst liegenden Raum

von nahezu gleichmäßigen Dimensionen ergreift, in Verengungen aber, wie sie die Doppelwände der Feuerkiste darstellen, nicht leicht eindringt, insofern sie hier nicht direkt entsteht.

Auch der in den Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preussen vom Jahre 1863 S. 106 beschriebene Fall bestätigt dies. Der Kessel bestand aus einem zylindrischen Siede- oder Unterkessel und einem darüber liegenden Oberkessel, welcher mit dem Sieder durch einen Stutzen verbunden war. Das Wasser füllte den Sieder ganz und erhob sich durch den Stutzen bis in den Oberkessel, woselbst dasselbe noch einen hohen Stand einnahm, weil dieser Oberkessel vorher als selbstständiger Kessel für sich allein gebraucht und durch den unteren Sieder späterhin nur verstärkt war.

Bei der Explosion wurde nur der untere 20 Zoll weite Sieder zertrümmert, der obere 36 Zoll weite Kessel jedoch nicht. Hieraus folgt, dass sich die Explosion durch den Stutzen nicht fortgepflanzt hat. Dass der Oberkessel verschont blieb, erklärt sich dadurch, dass die Entleerung desselben nicht durch den Dampfraum, sondern durch den Wasser-raum vor sich ging, was nach der weiter oben gegebenen Erläuterung bei weitem nicht so gefährlich ist.

Hinsichtlich der Primitivität des Sitzes der Explosion im Wasserraume ist noch das bei der Explosion der Maschine Magdeburg konstatirte Faktum, dass alle Siederöhren von der Axe des Bündels nach außen gebogen waren, hervorzuheben. Dieser Effekt konnte nur erreicht werden, wenn die Explosionskräfte ihren Sitz im Wasser, nicht, wenn sie ihn in dem über allen Siederöhren gelagerten Dampfe hatten.

Diese letzteren theoretischen und empirischen Ergebnisse bekräftigen einerseits den schon früher ausgesprochenen Satz, dass unmittelbar nicht der Dampfraum, sondern der Wasser-raum explodirt, ferner lehren sie, dass sich die Explosion nicht leicht durch Verengungen fortpflanzt. Beide Sätze verdienen bei Dampfkesselkonstruktionen eine praktische Berücksichtigung: vor allen Dingen ziehen wir jedoch in Beziehung auf kombinierte Dampfkesselanlagen aus den obigen theoretischen Erwägungen und empirischen Bestätigungen den Schluss, dass es durchaus fehlerhaft und gefährlich sei, mehrere Dampfkessel durch ein gemeinschaftliches Dampfrohr in Verbindung zu setzen, weil hierdurch alle Dampfäume in Kommu-

nikation treten und die Explosion des einen die Explosion aller übrigen leicht zur Folge hat.

Wenn mehrere Kessel zusammenwirken sollen, muss ein jeder sein besonderes Dampfrohr mit einem besonderen Regulator haben. Diese Dampfrohre dürfen nicht in einem großen gemeinschaftlichen Dampfraum einmünden, wenigstens darf die Regulirung des Dampfabflusses nicht jenseit des gemeinschaftlichen Rohres stattfinden, damit in dem gemeinschaftlichen Rohre kein größerer Druck besteht, als der Eintritt in die Dampfzylinder es unbedingt erfordert. Unter solchen Umständen brauchen nämlich die einzelnen Regulatoren der verschiedenen Kessel nicht weiter geöffnet zu werden, als die isolirte Thätigkeit jedes einzelnen Kessels es nöthig machen würde, wogegen die Regulirung des Dampfes jenseit des gemeinschaftlichen Dampfrohres (d. h. zwischen diesem Dampfrohre und den Zylindern) im gemeinschaftlichen Dampfrohre einen Druck gleich dem in den Kesseln und demzufolge freie oder weit geöffnete Dampfrohre von den Kesseln bis in das gemeinschaftliche Dampfrohr verlangen und damit die obige Gefahr herbeiführen würde. Ein gemeinschaftlicher Dampfraum mit jenseit liegender Regulirung ist aber an sich unnütz, d. h. es ist hierzu kein großer Raum erforderlich, weil die mit der Größe dieses Raumes verbundene Verdünnung des Dampfes und der gleichzeitig daraus entspringende Verlust an lebendiger Kraft nicht vortheilhaft, sondern nur nachtheilig wirken kann.

Wenngleich die momentan wirkenden Explosionskräfte leicht an Verengungen gebrochen werden, so leuchtet doch ein, dass in dem Maasse, wie sich die Dampfungwicklung über einen größeren Zeitraum verbreitet oder die Plötzlichkeit in Allmählichkeit übergeht, eine solche Verengung ihre schützende Kraft verliert, dass also starke Spannungen, welche sich in einem mehr stetigen Verlaufe, wenngleich nach gewöhnlicher Auffassungsweise sehr rasch bilden, auch durch Dampfrohre sich fortpflanzen können. Solche Spannungen werden nun niemals eine ernstliche Gefahr für die auf dem Wege eines Dampfrohres erst zu erreichenden Behälter in sich schliessen, so lange diese Behälter für die dem normalen Kesseldrucke entsprechende Spannung konstruirt sind. Unstatthaft muss es aber immer erscheinen, mit dem Dampfkessel auf einem kurzen oder langen Dampfwege irgend einen Behälter in Verbindung zu bringen,

welcher nicht für normalen Dampfdruck eingerichtet ist, selbst wenn man diesem Behälter eine frei in die Luft ausmündende enge Ausflussöffnung giebt, in der Meinung, dass diese Öffnung den Behälter unter allen Umständen vor starken Pressungen schützen werde.

Hiernach erscheinen gusseiserne Trockenzylinder, welche mit direktem Dampfe geheizt werden, selbst dann bedenklich, wenn sie eine freie Ausströmungsöffnung haben, weil eine erhebliche Druckermäßigung oder überhaupt eine rasche und erhebliche Dampfbildung im Kessel, selbst wenn sie nicht zur Explosion des Kessels führt, den Druck in jenem Behälter so bedeutend steigern kann, dass dieser Behälter explodirt, ein Fall, der sich in der That im Herzogthume Braunschweig ereignet hat.

Eine plötzliche Dampfbildung, selbst wenn der Kessel dem Stosse widersteht, wird, wenn sie stark genug ist, den Kessel merkbar erschüttern können. Die Ingenieure sind bereits auf das Tanzen der Kessel aufmerksam geworden, welches sicherlich seinen Grund in einer stoßweisen Dampfbildung hat und das Symptom einer glücklich überstandenen Gefahr ist.

Folgende Erscheinung ist für die obigen Anschauungen von besonderer Bedeutung. Es ist bekannt, dass beim Öffnen des Regulators und auch beim Öffnen des Dampfpußers das Wasser im Wasserstandsglase sich hebt, um bald darauf wieder zu fallen. Wie ist dieß möglich, wenn nicht gleichzeitig eine Thätigkeit in den Wassertheilchen vor sich geht, welche das Volum des Wasserraumes momentan vergrößert? Diese Thätigkeit ist nichts Anderes, als die durch die Druckermäßigung verursachte plötzliche Dampfbildung, welche ja nach dem Obigen in allen Theilen der Wassermasse vor sich gehen, folglich augenblicklich eine Auseinanderrückung der nicht verdampften Wassertheilchen, d. h. eine Vergrößerung oder Ausdehnung des Wasserraumes zur Folge haben muss, eine Ausdehnung, welche erst in derjenigen kurzen Zeit, die der Dampf nöthig hat, um von allen Punkten der Wassermasse bis an die Oberfläche zu dringen, sich wieder verlieren wird.

Ich bin der Ansicht, dass die momentane Erhebung des Wasserspiegels bei plötzlicher Dampfbildung, wie sie sich am Wasserstandsglase zeigt,

ein direkter und schlagender Beweis für die Plötzlichkeit der Dampfentwicklung, für die Allgemeinheit der Dampfentwicklung in allen Wassertheilchen, für die plötzliche Volumerweiterung der Wassermasse, für die Energie der daraus entspringenden Stosswirkung gegen die Kesselwände, für die Primitivität des Wasserraumes als Sitz der Explosionskräfte und für die Häufigkeit der Veranlassung zu starken Erschütterungen ist.

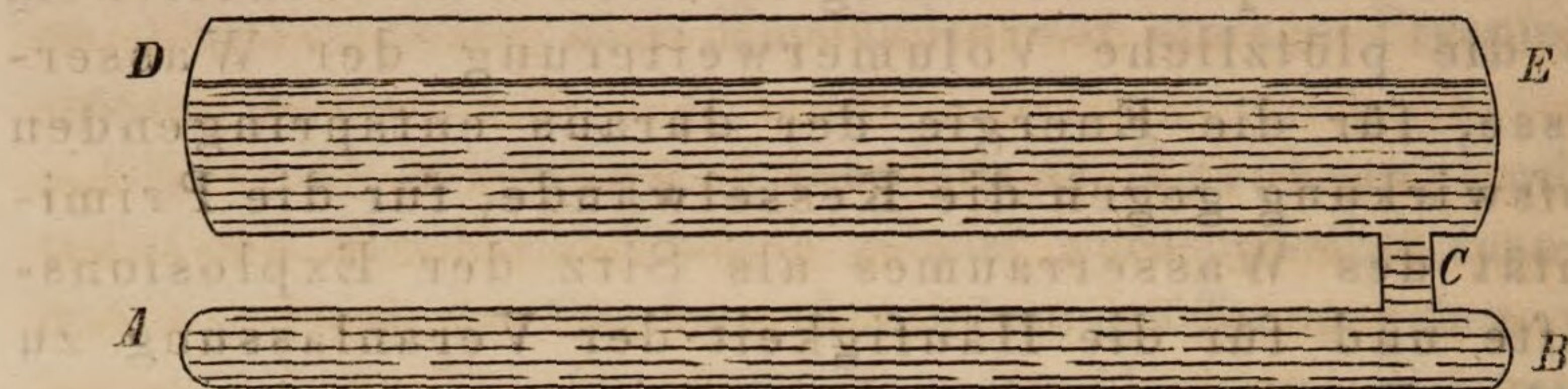
Zugleich ergibt sich hieraus, dass das Wasserstandsglas ein Indikator für die stattgehabte Dampfentwicklung ist, indem die Grösse und die Schnelligkeit der Schwankung ein Maass für die Menge und Plötzlichkeit des entstandenen Dampfes abgibt. Hieraus folgt, dass dieses Glas dem Maschinenführer die Regeln für sein Verhalten beim Reguliren der Maschine an die Hand giebt, indem dasselbe ihm bei jeder unvorsichtigen Dampfentlassung eine mehr oder minder ernstliche Warnung zukommen lässt.

Bei der in den Verhandlungen des Preussischen Gewerbevereines vom Jahre 1863 auf S. 106 ff. umständlich beschriebenen und schon weiter oben besprochenen Explosion ist ausdrücklich konstatirt, dass das Wasser im Wasserstandsglase sich rasch vom unteren bis zum oberen Ende erhob und darauf wieder herabfiel. Bei diesem Vorfalle sind überhaupt Wahrnehmungen gemacht, welchen ich eine besondere Wichtigkeit für die Einrichtung der Kesselanlagen zuschreibe. Dieselben bestehen darin, dass der Gang der Maschine kurz vor der Explosion auffallende Unregelmässigkeiten gezeigt hat, dass zu dieser Zeit ein heftiges Zischen und Rauschen im Kessel gehört ist, dass das Wasser im Wasserstandsglase stark geschwankt hat. Ausserdem ist deponirt, dass die mit diesem Kessel betriebene Maschine auch zu anderen Zeiten sehr unregelmässig gegangen ist.

Ich bin der Ansicht, dass in diesem Kessel schon zu verschiedenen Malen Explosionsstösse in Folge plötzlicher Dampfentwicklungen vorgekommen sind, welchen der Kessel bis dahin widerstanden hat, und dass die Ursache hierzu, sowie zu der letzten zerstörenden Explosion und zu allen erwähnten Nebenerscheinungen lediglich in der Anordnung der Kesselanlage zu suchen sei. Meines Erachtens ist nämlich eine

20 Fufs lange, 20 Zoll weite horizontal liegende Siederöhre *AB* (Fig. 7), welche an ihrem äußersten Ende durch einen Stutzen *C*

Fig. 7.



mit dem darüber liegenden hoch mit Wasser gefüllten Dampfessel *DE* verbunden ist, eine Disposition, welche der Dampfbildung ein entschiedenes Hinderniss bereitet. Der bei *A* entstehende Dampf kann nur mit Mühe durch den Stutzen *C* in den Dampfraum des Oberkessels gelangen. Die hierzu erforderliche Anstrengung kann nicht nach dem bei *A* herrschenden hydrostatischen Drucke beurtheilt werden, welcher dem bei *B* herrschenden gleich wäre: es kömmt vielmehr in Betracht, dass bei jeder Dampfbildung an irgend einer Stelle im Innern einer Flüssigkeit die ganze Masse der letzteren zur Seite gedrängt, also in Bewegung gesetzt werden muss, sodass momentan der Wasserraum sich erweitert und der Wasserspiegel sich hebt. Damit nun bei *A* eine Dampfblase entstehen kann, muss die ganze Wassermasse des Sieders in der Richtung *ABCE* längs des Sieders in Bewegung gesetzt und durch den Stutzen gepresst werden. Eine rapide Dampfbildung verlangt, dass diese Bewegung, welche wegen des langen röhrenförmigen Weges und der plötzlichen Querschnitts- und Richtungsveränderung im Stutzen schon an sich schwierig ist, mit grosser Geschwindigkeit oder Beschleunigung vor sich gehe. Hieraus folgt, dass die in Bewegung zu versetzende Wassermasse ein erhebliches Hinderniss für die Dampfbildung ist, dass also die Wassertheilchen bei *A* in Beziehung auf ihren Siedepunkt nicht wie solche zu betrachten sind, welche unter dem Dampfdrucke des Kessels *DE* stehen, sondern wie solche, welche unter einem viel höheren Drucke gehalten werden, welchen wir den Formwiderstand nennen wollen, weil er wesentlich durch die Form des Wasserbehälters bedingt ist.

Dieser Formwiderstand ist offenbar variabel. Am schwächsten und dem Dampfdrucke im Kessel nahezu gleich ist er bei

schwacher und allmählicher Dampfentwicklung; mit der Lebhaftigkeit der Verdampfung, also bei starker Heizung wächst er, weil eine rapidere Dampfbildung eine um so größere Beschleunigung der durch den Stutzen getriebenen Wassermasse erfordert. Außerdem hängt jener Formwiderstand von der momentanen Dampfvertheilung im Sieder *A B C* ab. In dem Augenblicke z. B., wo sich eine große Dampfmenge unter dem Stutzen *C* befindet, ist der Formwiderstand für den bei *A* sich entwickelnden Dampf geringer, weil jetzt eine Volumvergrößerung bei *A* das Wasser des Sieders nicht in den Stutzen zu treiben braucht, vielmehr an dem unter *C* befindlichen Dampfquantum ein elastisches Polster findet.

Aus allem Diesen ist klar, dass der Dampf in einem solchen Sieder sich häufig nur stoßweise oder in konvulsivischen Zuckungen entwickeln wird, indem die Verdampfung bald gehemmt, bald begünstigt wird. Oftmals wird, ehe der Dampf sich bis in den Dampfraum durcharbeitet, viel Wasser statt Dampf durch den Stutzen in den Oberkessel getrieben, sodass der Wasserstand erheblich schwankt und viel Wasser in den Zylinder übergerissen wird. Die unregelmäßige Dampfentwicklung hat einen unregelmäßigen Gang der Maschine zur Folge. Außerdem befindet sich aber der Sieder wegen des Wechsels des Formwiderstandes, welcher in seinem Effekte einem Wechsel des Dampfdruckes ganz gleich kömmt, fortwährend in der Gefahr des Explodirens.

Ein unregelmäßiger Gang der Maschine bewirkt schon an und für sich, selbst bei guten Kesselanlagen, wegen des damit verbundenen Wechsels des Dampfverbrauches eine stoßweise Dampfentwicklung und kann daher Gefahr bringen. Bei der vorstehenden Disposition verschlimmert aber dieser Gang wesentlich die ungünstigen Verhältnisse.

Es ist wichtig zu konstatiren, dass in den Verhandlungen des Preussischen Gewerbevereines vom Jahre 1863 auf S. 63 ff. ein zweiter, dem vorstehenden ganz ähnlicher Fall beschrieben wird, wo der untere Sieder, welcher mit dem Oberkessel durch Stutzen verbunden war, explodirt ist, und dass kurz vor der Explosion ein Knattern in diesem Sieder hörbar gewesen ist, ferner, dass in den genannten Verhandlungen vom Jahre 1864 auf S. 134 ff. ein dritter Fall der Explosion an einer ähnlichen Kesselkonstruktion vorkömmt, wobei aller-

dings der Oberkessel zertrümmert, der untere aber mit fortgeschleudert war, ferner, dass jene Verhandlungen vom Jahre 1865 auf S. 76 einen vierten Fall der Explosion an einem ähnlichen Kessel mit vorher wahrgenommenem Zischen aufzählen, ferner, dass in jenen Verhandlungen vom Jahre 1865 auf S. 84 ein fünfter Fall der Explosion an einem ähnlichen Kessel vorkömmt, ferner, dass in jenen Verhandlungen vom Jahre 1866 auf S. 59 über einen sechsten, auf S. 60 über einen siebenten und auf S. 85 über einen achten Fall dieser Art berichtet ist, sodass sich unter 26 amtlich beschriebenen Explosionen 8 an Kesseln mit Siedern oder Vorwärmern befinden.

Man darf hiernach die Anbringung einer Verengung zwischen dem direkt geheizten Wasser und dem Dampfraume, überhaupt aber die Erschwerung der Kommunikation zwischen beiden als einen Konstruktionsfehler ansehen.

Es ist sogar möglich, dass diejenigen Cornwallkessel, welche ein inneres Feuerrohr von ansehnlicher Weite haben und durch die Feuerluft sowohl in diesem Feuerrohre, als auch an der Unterfläche ihres Mantels bestrichen werden, dem Abzuge des an dieser Unterfläche entwickelten Dampfes ein Hinderniss bereiten, welches unter Umständen gefährlich werden kann. Unter den eben genannten 26 Explosionen sind nämlich 8 an Kesseln mit Vorwärmern und 11 an Kesseln mit innerer und äußerer Heizung, überhaupt 19 an Kesseln mit erschwerter Dampfbewegung vorgekommen.

Unter den in den vorstehenden Verhandlungen zusammengestellten 47 Explosionen, welche in Preussen, Frankreich und Belgien vorgekommen sind, befinden sich 20 an Kesseln mit Siedern und 14 an Kesseln mit inneren Feuerröhren, überhaupt 34 an Kesseln mit erschwerter Dampfbewegung.

Außerdem abstrahiren wir aus dem Obigen, dass ein auffallend unregelmässiger Gang einer Dampfmaschine als etwas Bedenkliches zu betrachten ist, indem derselbe entweder die Folge oder die Ursache einer unregelmässigen Dampfwicklung sein und desshalb mit einer Explosion in naher Verbindung stehen kann.

Auch wenn aus dem Kessel viel Wasser mit übergeris-

sen wird, namentlich wenn die Lokomotive speit, muss man auf stofsweise Dampfentwicklung schliessen, weil eine starke Vermischung von Wasser und Dampf nur dann eintreten kann, wenn sich plötzlich im Innern der Wassermasse viel Dampf bildet. Dieses Speien wird erfahrungsmässig durch die Einführung von Öl in das Wasser, auch durch Salzwasser befördert. Erinnert man sich nun, dass Beimischungen von Fetten und Salzen eine Verrückung des Siedepunktes herbeiführen können; so erklärt sich das Speien unter solchen Umständen sehr leicht aus der stofsweisen Verdampfung, und es folgt zugleich, dass Speisewasser, welches Speien veranlasst, nicht blofs unbequem, sondern auch bedenklich ist, indem es die Explosionen begünstigt.

Da die meisten Öle einen weit höheren Siedepunkt haben, als Wasser; so ist es nicht unmöglich, ja sogar wahrscheinlich, dass sich in einem Gemisch von Wasser und Öl ein Spannungszustand zwischen den Wasser- und den Öltheilchen bildet, welcher dem in einer überhitzten Wassermasse entstehenden ganz ähnlich ist. Das auf 100 Grad erhitzte Wassertheilchen sucht die vom Feuerherde eindringende Wärme als haftende Wärme zu fesseln oder latent zu machen, um dabei in Dampf überzugehen. Das benachbarte Öltheilchen sucht dieselbe Wärme auf dem Wege der Leitung als freie Wärme an sich zu ziehen. Hierbei kann es kommen, dass das Öl über 100 Grad erwärmt wird, während sich das Wasser auf 100 Grad erhält. Eine plötzliche Störung jenes Spannungszustandes, wobei dem Öl ein Theil seiner Wärme entrissen wird, muss dann eine explosive Verdampfung des Wassers zur Folge haben.

Das Sprühen eines Talg- oder Wachslichtes, dessen Docht mit Wasser benetzt ist, dürfte auf denselben Ursachen beruhen, indem sich in dieser Erscheinung die plötzlichen Verdampfungsstöße zu erkennen geben.

8. Explosion von Flüssigkeiten in verschiedenen Behältern.

Schliesslich machen wir darauf aufmerksam, dass dieselben allgemeinen Ursachen, welche die Explosionen der Dampfkessel hervorbringen, auch in vielen anderen Fällen Explosionserscheinungen veranlassen werden, dass also die obigen Vorsichtsmaafsregeln auch manche andere Berücksichtigung im praktischen Leben verdienen.

Die vornehmlichste Veranlassung zu Dampfkesselexplosionen liegt in einer plötzlichen Ermäßigung des Druckes, unter welchem die verdampfende Flüssigkeit gehalten wird. Bei Dampfkesseln ist es meistens die Abführung eines großen Dampfquantums, welches eine solche Druckermäßigung nach sich zieht. Eine solche plötzliche Abführung von Dampf kann auch bei andern Behältern vorkommen; außerdem wird jedoch da, wo es sich um kleine Behälter handelt, die plötzliche Abkühlung, welche den Dampf kondensirt, eine ebenso häufige Ursache der Druckermäßigung sein; es würde also für solche Behälter, welche leicht abgekühlt werden können, mit gleicher Vorsicht die plötzliche Abkühlung des Dampf-raumes zu verhüten sein.

Hieraus folgt z. B., dass es gefährlich ist, aus einem verschlossenen Dampf-Kochtopfe, wie sie jetzt in Gebrauch kommen, durch Öffnung des Ventils den Dampf zu entlassen oder einen solchen Topf vom Feuer in einen sehr kalten Raum zu transportiren oder auf andere Weise rasch abzukühlen.

Wärmflaschen sind dieser Gefahr nicht in dem Maasse ausgesetzt, wenn sie während des Kochens offen gehalten werden. Eine verschlossene Wärmflasche würde ebenso gefährlich sein.

Wenn ein verschlossenes Gefäß, in welchem Wasser kocht, durch irgend eine Veranlassung leak wird oder zerbricht oder durch den inneren Dampfdruck gesprengt wird; so ist mit diesem Bruche auch sehr leicht eine Explosion verbunden, indem der Bruch eine plötzliche Druckermäßigung und dadurch eine plötzliche Verdampfung herbeiführt.

Die Explosionen von Flaschen, in welchen sich gährende Flüssigkeiten befinden, werden in vielen Fällen auf die plötzliche Gasentwicklung zurückzuführen sein, welche auf jeden Bruch und auch auf das Hinaustreiben des Stöpsels folgt.

Selbst solche Explosionen, welche erst durch Entzündung eines brennbaren explosiven Gases ihren eigentlichen Charakter annehmen, können in manchen Fällen durch eine plötzliche Verdampfung und diese durch eine plötzliche Druckermäßigung veranlasst werden. So ist es z. B. sehr wohl möglich, dass in einer Lampe ein Öl, welches flüchtige Bestandtheile enthält, wie manche aus Petroleum hergestellten Fabrikate, in Folge der Erwärmung des Ölbehälters lebhaft verdunstet, und dass sich,

weil der mit dem Dochte angefüllte Brenner ein Hinderniss für den Austritt des Gases ist, in dem Ölbehälter eine Spannung bildet, welche eine höhere Erwärmung des Öles zulässt, als der momentanen Verdunstung unter atmosphärischem Drucke entsprechen würde. Wenn jetzt der Ölbehälter durch Versetzung in einen sehr kalten Raum rasch abgekühlt und dadurch das darin enthaltene Gas kondensirt wird, oder wenn dieses Gas auf andere Weise einen mechanischen Ausweg findet, z. B. neben dem Dochte vorbei oder durch einen zufälligen Sprung des Behälters; so kann die plötzliche Druckermäßigung eine rapide Verdunstung des erwärmten Öles, hierdurch ein Zerspringen des Behälters und in weiterer Folge eine Entzündung des Gases durch die Flamme, also eine feurige Explosion nach sich ziehen.

Da Explosionen der Solaröllampen schon mehrfach vorgekommen sind, während diese Lampen an einen anderen Ort getragen werden, ein solcher Transport aber, wenn einmal Spannung in dem Behälter vorhanden ist, leicht zur Abkühlung oder zum Ausströmen des Gases durch den Brenner in Folge der Bewegung führen kann; so ist es nicht ganz unwahrscheinlich, dass die letzteren Umstände in der Praxis schon die ihnen zugeschriebene Rolle gespielt haben.

Bei der Fabrikation dieser Art von Lampen nimmt man weislich darauf Bedacht den Ölbehälter dergestalt und von solchem Materiale (z. B. von Glas statt von Metall) zu konstruiren, dass eine Erwärmung desselben durch die Lampenflamme nicht zu befürchten ist. Gleichwohl möchte es ein Gebot der Vorsicht sein, diese Lampen nicht rasch aus warmen in sehr kalte Zimmer zu führen und dieselben nicht heftigen Bewegungen auszusetzen, wenn nicht die Kühle des Ölbehälters vorher geprüft ist. Fände man sich aber unversehens durch einen erhitzten Ölbehälter überrascht, so wäre plötzliche Abkühlung desselben durchaus nicht rathsam, sondern vorsichtiges Auslöschen des Lichtes.

9. Das Leidenfrostsche Phänomen.

Aus unseren Anschauungen über das Wesen der haften Wärme ergiebt sich eine einfache Erklärung des Leidenfrostschen Phänomens, welches darin besteht, dass das auf eine glühende Metallfläche gegossene Wasser nicht sobald

verdampft, sondern sich in Tropfenform lange auf niedriger Temperatur erhält und langsam verdunstet.

Man pflegt diese Erscheinung dadurch zu erklären, dass das Wasser die glühende oder doch sehr heiße Metallfläche nicht netze, sondern sich wie ein Quecksilbertropfen zu einer Kugel balle, mithin sich nur in einem schwachen Kontakte mit der Metallfläche befinde und demzufolge die Wärme nur sehr langsam aufnehmen könne. Dass diese Erklärung nicht genügt, leuchtet ein; die Kugelung oder der sphäroidale Zustand des Tropfens ist offenbar selbst erst eine Wirkung derjenigen Ursache, welche man sucht, und kann demnach nicht als der Erklärungsgrund hingestellt werden. Ausserdem muss es trotz der Kugelung befremden, dass der Wassertropfen von der heißen Metallfläche nicht rascher erhitzt wird, da die leitende Wärme auch bei diesem Kontakte doch lebhafter in den Tropfen eindringen sollte. Mir scheint der Vorgang folgender zu sein.

Die sehr heiße Metallfläche ertheilt der mit ihr in Berührung kommenden äußersten Schicht des Wassertropfens sofort einen hohen Hitzegrad, welcher die Siedetemperatur von 100 Grad überschreitet, folglich dieser Schicht sogleich die Fähigkeit zu verdampfen ertheilt. Der Überschuss von Wärme über die Siedetemperatur tritt natürlich als haftende Wärme auf. Wir haben gesehen, dass die haftende Wärme sich nicht oder doch nur sehr schwer durch Leitung fortpflanzt, denn das Wassertheilchen, welches über 100 Grad, aber unter 600 Grad erhitzt ist, trachtet nicht bloß, alle haftende Wärme über 100 Grad latent zu machen, also festzuhalten, sondern sogar der Umgebung die an 600 Grad fehlende Wärme zu entreißen. Dieß hat zunächst zur Folge, dass die haftende Wärme aus der äußersten Schicht des Tropfens sich nicht in das Innere desselben verbreitet, dass also die Hauptmasse des Tropfens kalt bleibt, während die äußerste Schicht nach Verdampfung strebt. Dieses Streben nach Verdampfung in der äußersten Schicht, welches die Heranziehung der noch fehlenden latenten Wärme erfordert, erzeugt die schon vorhin besprochene Spannung zwischen den Molekülen dieser Schicht, indem jedes Molekül seinem Nachbar die ihm selbst noch fehlende Wärme zu entreißen bemüht ist. Eine derartige Spannung in der äußersten Schicht einer kleinen Wassermasse muss

nothwendig die Kugelgestalt und in einer gröfseren Masse den sogenannten sphäroidalen Zustand herbeiführen, welcher darauf beruht, dass die Kohäsion in der äufsersten Schicht einer Flüssigkeit gröfser ist als die Adhäsion an die Berührungsfläche, und in Folge dessen diese Fläche nicht genetzt wird. Wegen dieser Kugelgestalt wird nun die Wärmezuführung von der Metallfläche sehr erschwert werden, indem die Wärme nur auf einzelnen Punkten eindringen kann, auch der Kontakt an den Stellen, wo sich Wasser und Metall in Flächen berühren, kein inniger Molekularkontakt ist. Da in der kleinen Wassermasse die innere Adhäsion eine so lebhaftere Strömung verhindert, wie sie in grofsen Wasserbehältern möglich ist, so wird sich von der äufsersten Schicht aus die Wärme auch nicht auf dem Wege der Strömung im Innern verbreiten, es wird also die Erhitzung auf die äufserste Schicht beschränkt bleiben. Hier wird sich die Wärme so weit steigern, bis irgend eine kleine Unregelmässigkeit in der Spannung zwischen ihren Molekülen dem einen Moleküle es ermöglicht, seinen Nachbarn die fehlende latente Wärme zu entreifsen und zu verdampfen. Die Verdampfung wird also immer nur an einzelnen Stellen der Oberfläche des Tropfens plötzlich oder stofsweise erfolgen, und diese Stöfse sind es, welche dem Tropfen selbst in einer ruhenden Schale eine kreisende Bewegung ertheilen. Bliebe die Spannung und die Wärmevertheilung in der äufsersten Schicht ganz regelmässig, so würde eine Verdampfung derselben erst dann eintreten, wenn sie bis auf 600 Grad erhitzt wäre. Obgleich eine solche Regelmässigkeit in der Wirklichkeit nicht vorkommen kann, so ersieht man doch, dass sich die äufserste Schicht oftmals erst sehr stark erhitzen wird, ehe sie verdampft. Nachdem ein Theil dieser äufsersten Schicht durch Verdampfung absorbirt ist, tritt eine entsprechende dünne Wassermasse aus der darüber liegenden Schicht an ihre Stelle. Immer kommt für die Erwärmung und Verdampfung nur die äufserste Schicht in Betracht; der Tropfen verzehrt sich also von aussen allmählich.

Ist die Metallfläche nicht zu heifs, sodass sie nicht sofort die äufserste Schicht des Wassers überhitzt und die fragliche Spannung hervorruft, so dringt Wärme leitend in die ganze Masse ein, erwärmt sie gleichmässig bis auf 100 Grad und bewirkt alsdann die Verdampfung mit derjenigen Schnelligkeit,

welche der Zuführung der zur Verdampfung erforderlichen latenten Wärme aus der Heizfläche entspricht. Die Verdampfung geht jetzt leichter und demnach rascher vor sich, weil jedes überhitzte Theilchen sofort die ihm fehlende latente Wärme von seinen Nachbarn nimmt und jedes noch nicht überhitzte Theilchen zur weiteren Aufnahme der ihm leitend zukommenden Wärme disponirt ist.

Dass das Wasser die heiße Metallfläche nicht netze, haben wir für eine Wirkung der in der äußeren Schicht des Wassers sich sammelnden haftenden Wärme ausgegeben, weil diese Wärme eine Spannung zwischen den Wassertheilchen erzeugt, welche die Adhäsion an die Metallfläche überwiegt und dadurch die Neigung zur Kuglung herbeiführt. Es scheint mir übrigens wahrscheinlich zu sein, dass diese Kuglung noch durch einen Umstand begünstigt oder verstärkt wird, welcher nicht lediglich der haftenden Wärme zuzuschreiben ist.

Immer kann die Netzung eines Körpers durch eine Flüssigkeit nur dadurch veranlasst werden, dass die Adhäsion der Flüssigkeit an den Körper stärker ist als die Kohäsion der Flüssigkeit, oder allgemeiner, dass die Anziehungskräfte zwischen den Flüssigkeitstheilchen und den Körpertheilchen die Anziehungskräfte zwischen den Flüssigkeitstheilchen selbst überwiegen. Das umgekehrte Verhältniss bedingt die Kuglung der Flüssigkeit oder die Eigenschaft, den Körper nicht zu netzen. Diese beiden entgegengesetzten Zustände sind mithin nicht durch den absoluten Werth der Adhäsion und der Kohäsion der Flüssigkeit, sondern durch das Verhältniss beider bedingt. Die haftende Wärme in der Flüssigkeit wird, indem sie die Kohäsionsspannung verstärkt, ohne die Adhäsion zu ändern, dieses Verhältniss zu Gunsten der Kohäsion dergestalt erhöhen, dass endlich die Kuglung eintritt. Allein auch Alles, was direkt die Adhäsion vermindert, wird denselben Effekt haben, also die Kuglung begünstigen.

Nun scheint es, als ob eine Vergrößerung der Temperaturdifferenz zwischen zwei Körpern an sich schon deren Adhäsion vermindert, wogegen eine Verminderung dieser Temperaturdifferenz die Adhäsion verstärkt, wenigstens dann, wenn der eine von beiden Körpern fortwährend auf konstanter und hoher Temperatur erhalten wird, und dass dieß nicht bloß für einen starren und flüssigen, sondern auch für einen starren und

gasförmigen, sowie für einen flüssigen und gasförmigen und endlich für zwei starre, für zwei flüssige und für zwei gasförmige Körper gilt.

Betrachten wir zunächst zwei starre Körper, z. B. zwei Stücke desselben Metalls. Ist der eine Körper *A* sehr heiß oder glühend und der andere Körper *B* kalt, so findet nur eine schwache Adhäsion statt. Bei der allmählichen Erhitzung des zweiten Körpers *B* wächst die Adhäsion anfangs zwar nur unmerklich; allein wenn *B* einen hohen Hitzegrad erreicht, wird die Zunahme der Adhäsion sehr merklich und äußert sich ganz unzweideutig an der Schweissung, welche für starre Körper dasselbe Phänomen ist, wie die Netzung für einen starren und einen flüssigen Körper. Allerdings sind nicht alle Körper schweißbar; bei den nicht schweißbaren, z. B. bei zwei Stücken Gusseisen bewirkt aber doch die Erhitzung des zweiten Stückes, dass es mit dem ersten gleichfalls stark erhitzten Stücke einen innigeren Kontakt eingeht.

Ist *A* ein glühender starrer Metallkörper und *B* eine Flüssigkeit, so geht die relative Verminderung der Adhäsion mit der Abkühlung der Flüssigkeit *B* aus dem Leidenfrost'schen Phänomen hervor; allein wir dürfen uns auf diese Erscheinung hier nicht berufen, weil bei derselben nach dem Obigen eine zweite Ursache in Frage kömmt, welche eben dasselbe Resultat bedingt, und es daher unentschieden bleibt, ob jene zweite Ursache nicht die allein wirksame sei. Nehmen wir aber an, der glühende Körper *A* sei die Flüssigkeit, z. B. geschmolzenes Metall und der kältere Körper sei ein starres Stück *B* von demselben Metall; so finden hierauf unsere obigen Betrachtungen über haftende Wärme keine Anwendung, machen also der jetzt in Erwägung gezogenen Temperaturdifferenz keine Konkurrenz. Die glühende Flüssigkeit netzt im Allgemeinen den kalten Körper nicht; bei genügender Erhitzung des letzteren tritt aber die Netzung unfehlbar ein, schliesslich erfolgt sogar Verschmelzung; die Verminderung der Temperaturdifferenz hat also eine Verstärkung der Adhäsion zur Folge. Aus dem Umstande, dass man mit schmelzendem Zinn und Kupfer löthet, könnte zwar der entgegengesetzte Schluss gezogen werden; allein dieß wäre ein Fehlschluss. Denn einmal geschieht das Löthen häufig mit einem heißen Kolben, welcher auch das kalte Metall *B* erhitzt; allgemein aber ist die grössere Kälte

des Körpers *B* keine Bedingung für eine gute, innige Löthverbindung, sonder im Gegentheil möglichste Erwärmung desselben. Dass überhaupt manches schmelzende Metall *A* manches kalte Metall *B* löthet, ist an sich eine Erscheinung, welche unsere Ansicht weder widerlegt, noch bestätigt, ebenso wenig wie die Thatsache, dass manche kalte Flüssigkeit *A* manchen kalten Körper *B* netzt. Dass aber dasjenige schmelzende Metall *A*, welches das kalte Metall *B* löthet, das heiße *B* besser löthet, ist eine direkte Bekräftigung unserer Voraussetzung.

Für den Fall, wo *A* ein glühender starrer Metallkörper und *B* ein Gas ist, hat die Wahrnehmung eine besondere Bedeutung, dass aus einem Loche in der glühenden Wand eines Dampfkessels kein Dampf entweicht, während derselbe durch ein feines Loch in einer kalten Wand nicht zurückgehalten wird. Hierin zeigt sich das Phänomen der Kugelung des Gases an glühender Metallfläche. Die Verminderung der Adhäsion scheint hier bis zur Repulsion gediehen zu sein.

Ob umgekehrt auch glühendes Gas besser einen glühenden, als einen kalten Körper netze, und in welchem Maasse es sich gegen einen kalten Körper abweisend oder sphäroidal verhalte, ist zwar noch nicht ein Gegenstand direkter Versuche gewesen; es ist jedoch gewiss, dass Gase, welche in einen starren Körper von einiger Dichtigkeit fast gar nicht eindringen, so lange er kalt ist, diese Fähigkeit erlangen, sobald er glühend ist, und es liegt auf der Hand, dass die Gase in diesem Falle nicht in kaltem, sondern in heißem Zustande in den glühenden Körper eindringen. Demnach dringt ein glühendes Gas in manchen Körper ein, wenn derselbe glühend ist, nicht aber, wenn er kalt ist, und jenes Eindringen des Gases, welches auch ein Ansaugen des Körpers ist, bildet die dem Netzen, Löthen und Schweißen verwandte Erscheinung. Hauptsächlich wäre übrigens noch zu konstatiren, ob auch von dem glühenden Gase, selbst wenn es nicht in den Körper eindringt, doch eine dichtere Schicht auf dem glühenden, als auf dem kalten Körper haftet.

Wie zwei starre Körper, ebenso verhalten sich hinsichtlich des Netzens auch zwei Flüssigkeiten *A* und *B*. Der dem Netzen analoge Zustand ist hier derjenige, wo beide Flüssigkeiten sich mischen, der dem Nichtnetzen analoge Zustand

dagegen ist der, wo beide Flüssigkeiten, wie Öl und Wasser, sich nicht mischen. Wenn in dem letzteren Falle die eine Flüssigkeit *A* eine dünne Schicht auf einem Körper bildet, kugeln sich kleine Massen der zweiten Flüssigkeit *B* wirklich auf derselben.

Wegen der Beweglichkeit der Flüssigkeiten sind zwei sich berührende Flüssigkeiten nicht leicht auf sehr verschiedenen Temperaturen zu erhalten und demzufolge ist auch die Wirkung gröfser und kleiner Temperaturdifferenzen hier nicht gut zu beobachten. Übrigens ist soviel gewiss, dass, wenn von zwei in kaltem Zustande sich nicht mischenden Flüssigkeiten wie Öl und Wasser die eine heifs und die andere kalt ist, eine Mischung nicht stattfindet, dass jedoch, wenn auch die zweite Flüssigkeit erhitzt wird, eine viel gröfsere Neigung zum Mischen und auch eine angenäherte Mischung eintritt, dass also die Verminderung der Temperaturdifferenz eine Erhöhung der Adhäsion zur Folge hat.

Da Gase diffundiren, so wird die Variation der Temperaturdifferenz eine Veränderung der Neigung zur Diffusion zur Folge haben. Unsere Ansicht würde bestätigt werden, insofern dessfallsige Versuche lehrten, dass, wenn das eine Gas stets auf hoher Temperatur erhalten wird, die Diffusion leichter von statten geht, wenn auch das zweite Gas heifs ist, als wenn es kalt ist, ein Resultat, welches mit gröfser Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann.

Wenngleich es noch weiterer Beobachtungen bedarf, um die obige Hypothese als ein ganz allgemeines Gesetz zu rechtfertigen, so liegen doch, wie oben gezeigt, Thatsachen genug vor, um dieselbe innerhalb der hier in Betracht kommenden Verhältnisse als ein Faktum anzuerkennen. Wir nehmen also an, dass mit steigender Temperaturdifferenz die Adhäsion zwischen zwei sich berührenden Körpern, von welchen der eine sehr heifs ist und auf konstanter Temperatur erhalten wird, abnimmt und unter Umständen sogar in Repulsion übergehen kann.

Hieraus erklärt sich, dass ein feines Loch in einer glühenden Kesselwand keinen Dampf durchlässt. Ausserdem trägt dieses Verhalten eines heifsen Körpers gegen einen kalten dazu bei, das Phänomen der Kugelung des Wassertropfens auf einer heifsen Metallfläche zu erhöhen und jedem kalten Körper, wel-

cher in glühendes Metall getaucht wird, einen gewissen Schutz vor der Verbrennung zu gewähren, selbst wenn dieser Körper keine Feuchtigkeit in seiner oberen Schicht enthält, also nicht schon durch die haftende Wärme gesichert wird.

Wenn es als ausgemacht gilt, dass die Adhäsion vermindert wird, wenn die Temperaturdifferenz grösser, wenn also der heisse Körper noch heisser wird; so liegt die Annahme nahe, dass die Adhäsion auch dadurch vermindert wird, wenn der heisse Körper zwar nicht heisser, aber doch verdichtet wird, weil hierdurch eine grössere Menge heisser Wassertheilchen auf derselben Berührungsstelle zusammengedrängt werden. Ausserdem geht die Verdichtung wahrscheinlich Hand in Hand mit der Vermehrung der Kohäsion oder den zwischen den Wassertheilchen bestehenden Attraktionsspannungen, weil diese Theilchen durch Verdichtung einander näher gerückt werden und die Attraktionskräfte, welche Funktionen der Entfernung sind, mit der Annäherung wachsen.

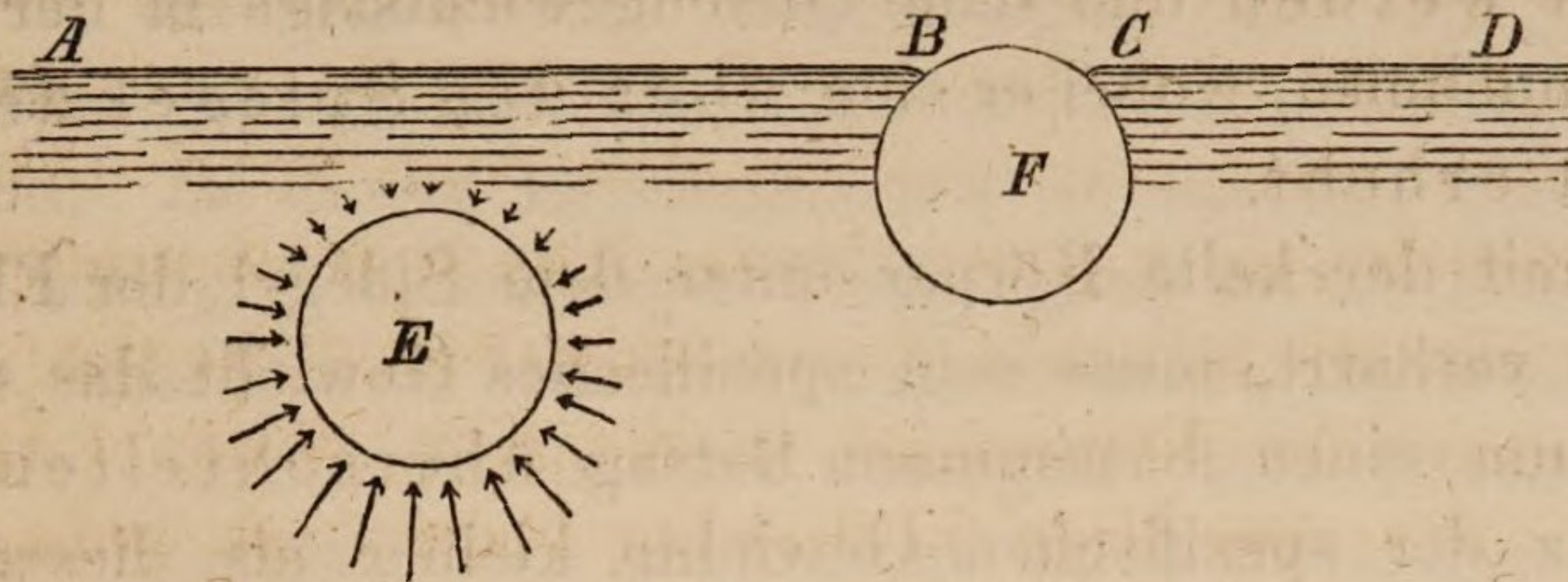
Verminderung der Adhäsion an den fremden Körper und Vermehrung der Kohäsion zwischen den eigenen Massentheilchen verstärken beide das Phänomen der Kugelung oder der relativen Abstossung des fremden Körpers. Im Allgemeinen müsste also Quecksilber unter starkem Luftdrucke rundere Tropfen oder höhere Mennicken bilden, als im luftleeren Raume, und ein Wassertropfen, welcher auf einer Metallfläche von gewisser Temperatur soeben seine sphäroidale Beschaffenheit verliert und das Metall zu netzen beginnt, müsste sich unter starkem Luftdrucke auf derselben Metallfläche noch kugeln.

Falls sich diese Voraussetzungen bestätigen, muss eine schmelzende Metallmasse in den tieferen Punkten unter dem oberen Spiegel nicht bloß grössere Kohäsion ihrer Theilchen, sondern auch geringere Adhäsion gegen einen kalten Körper, als in den höheren Punkten äussern, weil sie in den tieferen Punkten stärker verdichtet ist. Diese stärkere Dichtigkeit in der Tiefe ist nicht ganz unbedeutend, da sie beim Gießen von Kanonenläufen und Röhren sogar für praktische Zwecke ausgebeutet wird, indem man diese Gegenstände gern stehend und mit einem verlorenen Kopfe giesst, welcher nicht ausschliesslich zur Aufnahme des Schaumes, sondern auch zur Verdichtung der unteren Masse dient.

Eine solche Abnahme der Adhäsion und Zunahme der Ko-

häsion mit der Tiefe hat einen eigenthümlichen Einfluss auf den Gleichgewichtszustand eines in eine heiße geschmolzene Flüssigkeit getauchten kalten Körpers. Wäre Adhäsion und Kohäsion in jeder Tiefe unter dem Spiegel $ABCD$ (Fig. 8) der heißen Flüssigkeit gleich, so würde der Gleichge-

Fig. 8.



wichtszustand des eingetauchten kalten Körpers E durch den sphäroidalen Zustand der Flüssigkeit nicht affizirt werden. Vermöge des sphäroidalen Zustandes würde die Flüssigkeit den Körper mehr oder weniger fest umschnüren. Man kann sich die Kräfte, welche diese Umschnürung bewirken, wie die Spannung einer um den Körper gelegten elastischen Haut vorstellen, welche nach allen Richtungen hin gleich stark gespannt ist. Die Spannungen einer solchen Haut wirken tangential zur Oberfläche des Körpers und setzen sich in jedem Elemente dieser Oberfläche von bestimmtem Flächeninhalte zu einer normal gegen den Körper gerichteten Kraft zusammen. Die Gesammtheit dieser normalen Kräfte sucht den Körper zu komprimiren, und wenngleich jede einzelne von der Größe und Krümmung des betrachteten Elementes abhängt; so ist doch die Resultante aller gleich Null. Ein um einen Körper von beliebiger Gestalt gelegtes elastisches Band von überall gleicher Spannung komprimirt diesen Körper, ohne ihn zu bewegen, ohne also eine Resultante zu erzeugen.

Anders ist es, wenn die Adhäsion der Flüssigkeit mit der Tiefe ab- und die Kohäsion zunimmt. Alsdann befindet sich der eingetauchte Körper in dem Falle einer Umschnürung, welche unten stärker gespannt ist als oben, also eine vertikale, von unten nach oben gerichtete Resultante hat, welche in der Hydrostatik den Namen Auftrieb führt.

Aus allem Diesen dürfen wir den Schluss ziehen, dass ein schmelzendes und demnach sehr heißes Metall auf einen einge-

tauchten Körper einen Auftrieb äußert, welcher lediglich aus der Temperaturdifferenz zwischen dem flüssigen Metalle und diesem Körper entspringt und sich zu dem hydrostatischen Auftriebe gesellt. Hat mithin der eingetauchte Körper genau das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, so wird er nicht freiwillig an seinem Orte verbleiben, sondern in die Höhe getrieben werden und seine Gleichgewichtslage in der Stellung *BCF* einnehmen, wobei er sich über den Spiegel der Flüssigkeit erhebt.

Damit der kalte Körper unter dem Spiegel der Flüssigkeit in Ruhe verharret, muss sein spezifisches Gewicht das der Flüssigkeit um einen bestimmten Betrag überschreiten; ist die Differenz der spezifischen Gewichte kleiner als dieser Betrag, so wird der kalte Körper emporgetrieben, obgleich er spezifisch schwerer ist, und es schwimmt schließlich in der Stellung *BCF* ein schwererer Körper auf der leichteren Flüssigkeit.

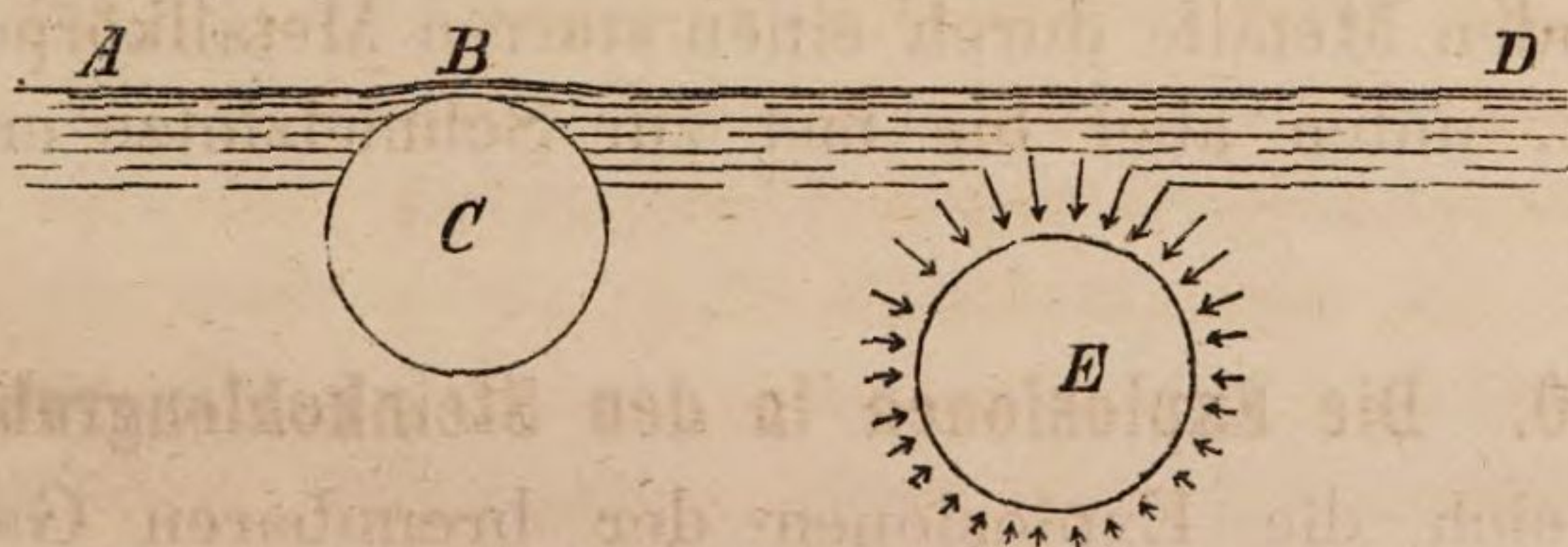
Bekanntlich ist Gusseisen im starren Zustande dichter und schwerer, als im flüssigen Zustande, indem es bei der Erstarrung sichtbar schwindet. Dessenungeachtet schwimmt die starre Kugel von Gusseisen auf dem schmelzenden Eisen von derselben Qualität und eine untergetauchte Kugel wird lebhaft emporgestoßen. Diese Erscheinung dürfte durch Vorstehendes ihre Erläuterung finden. Der Auftrieb der ganz untergetauchten Kugel setzt nicht bloß einen sphäroidalen Zustand der Flüssigkeit voraus, sondern verlangt, dass dieser Zustand mit der Tiefe an Intensität zunimmt. Das Schwimmen am oberen Spiegel der Flüssigkeit mit herausragender Oberfläche in der Stellung *BCF* erfordert übrigens lediglich den einfachen sphäroidalen Zustand, nicht nothwendig die Steigerung dieses Zustandes mit der Tiefe. Denn wenn sich eine sphäroidale Flüssigkeit, deren sphäroidaler Zustand mit der Tiefe nicht zunimmt, über den Körper nicht schließt, sondern denselben nur von der Seite und von unten berührt; so hat die Umschnürung trotz ihrer Gleichförmigkeit, da sie nur einseitig an dem Theile *BFC* des Umfanges stattfindet, doch offenbar eine vertikal von unten nach oben wirkende Resultante, erzeugt mithin einen Auftrieb, welcher den schwereren Körper, wenn sein Gewicht einen gewissen Betrag nicht überschreitet, in jener Lage schwimmend erhält, wäh-

rend der Körper bei voller Eintauchung nothwendig unter-sinken würde, weil diese Flüssigkeit bei vollständiger Umschließung des Körpers keinen Auftrieb erzeugt.

Hieraus, nämlich aus dem einfachen sphäroidalen Verhalten zwischen Wasser und jedem fettigen oder auch nur sehr blanken Körper erklärt sich, dass eine Nähnadel auf dem Wasser schwimmen, dass ein kleiner Wassertropfen auf einer Ölfäche in Kugelform ruhen, dass ein Käfer auf einem Wasserspiegel laufen kann. Zu diesen Erscheinungen ist nur das sphäroidale Verhalten nöthig. Wenn diese Körper ganz in die Flüssigkeit eintauchen, erhalten sie sich nicht schwimmend, sondern sinken in die Tiefe. Der Auftrieb einer untergetauchten eisernen Kugel in schmelzendem Eisen kann nicht durch diejenigen Kräfte erklärt werden, welche die Nähnadel über der Wasserfläche schwimmend erhalten; es ist dazu eine Zunahme des sphäroidalen Zustandes mit der Tiefe durchaus erforderlich.

Das Netzen als Gegensatz des sphäroidalen Verhaltens zweier Körper wird auch die entgegengesetzten Erscheinungen hervorbringen. Beim Netzen überwiegt die Adhäsion an den fremden Körper die Kohäsion der eigenen Massentheilchen. Dieser Zustand kann bewirken, dass ein dicht unter die Oberfläche einer Flüssigkeit gebrachter leichterer Körper, wenn er gut genetzt wird, diese Oberfläche nicht durchbricht, also ganz unter dem Spiegel verbleibt, wie dieß bei *C* in Fig. 9

Fig. 9.



dargestellt ist. So schwimmt eine hölzerne Kugel, welche nur ganz wenig leichter ist, als Wasser, wenn sie ganz benetzt ist, unter dem Wasserspiegel.

Öl und Wasser verhalten sich zwar in der Regel sphäroidal; allein zuweilen netzen sie sich. Wenn ein Wassertropfen auf einer Ölhaut oder ein Öltropfen auf einer Wasserschicht sich kugelt, findet der sphäroidale Zustand statt; wenn aber der Tropfen der einen Flüssigkeit sich auf dem Spiegel der anderen zu einer ganz dünnen Schicht ausbreitet, netzen

sich offenbar die beiden Flüssigkeiten. In diesem Zustande ist es denn auch möglich, dass ein Öltropfen, welcher von dem Boden einer Wassermasse aufsteigt, in Tropfenform *C* unter dem Wasserspiegel schweben bleibt. Ebenso wird zuweilen eine leichte Gasblase unter dem Wasserspiegel festgehalten.

Man kann die letzteren Erscheinungen nicht einer gewissen Zähigkeit oder Klebrigkeit der Flüssigkeit zuschreiben, welche etwa die Durchbrechung des Spiegels verhinderte; denn dieselbe Zähigkeit herrscht ja auch im Innern der Flüssigkeit und verhindert doch nicht das Aufsteigen des leichteren Körpers. Jene Erscheinungen kommen vielmehr auf Rechnung der Adhäsion der Flüssigkeit an den fremden Körper. Diese vorwiegende Adhäsion bewirkt aber doch nur, dass ein leichterer Körper sich dicht unter dem Flüssigkeitsspiegel halten kann; sie bewirkt nicht, dass der leichtere Körper in die Tiefe sinkt. Damit Letzteres eintreten könne, müsste die Adhäsion mit der Tiefe zunehmen oder die Kohäsion abnehmen. In diesem Falle würde das sphäroidale Verhalten mit der Tiefe abnehmen oder das Netzen würde zunehmen. Der eingetauchte Körper würde sich also in einer Umschnürung befinden, welche eine vertikale von oben nach unten wirkende Resultante hätte, mithin den Körper hinabzudrücken strebte, wie es bei *E* dargestellt ist.

Die letzteren Verhältnisse werden vermuthlich zu den seltenen Erscheinungen gehören. Sie ließen sich vielleicht im schmelzenden Metalle durch einen starren Metallkörper, welcher oben kalt, unten aber bis fast zur Schmelzhitze erhitzt wäre, realisiren.

10. Die Explosionen in den Steinkohlengruben.

Obgleich die Explosionen der brennbaren Gase in den Steinkohlengruben eine ganz andere Veranlassung haben, als die Dampfkesselexplosionen, und demzufolge von ganz anderen Gesichtspunkten zu beleuchten sind; so möchte doch die unheilvolle Gleichartigkeit der Effekte den Schluss dieser Schrift nicht als einen unpassenden Ort für ein Paar Worte über die ersteren Explosionen erscheinen lassen. Das entsetzliche Unglück zweier gleichzeitigen Grubenexplosionen, welches vor wenigen Tagen 500 englischen Arbeitern das Leben gekostet hat, das häufige Vorkommen solcher Katastrophen in England und

die Gefahr, dass bei dem immer mehr sich ausbreitenden Kohlenbergbau in Deutschland auch unser Vaterland von ähnlichen Unfällen heimgesucht werden könnte, enthält Motive genug, von jedem, also auch von diesem Orte aus die Stimme zur Abwehr zu erheben.

So mag es denn erlaubt sein, die Untersuchungen über die Dampfkesselexplosionen mit einer kurzen Betrachtung über die Grubenexplosionen zu beschließen. Die Erfahrung lehrt, dass die Davysche Sicherheitslampe, so werthvoll diese geistreiche Erfindung für den Bergbau ist, doch keine hinreichende Sicherheit gewährt, theils weil dieselbe von den Bergleuten zuweilen vernachlässigt wird, theils weil auch andere Ursachen zur Entzündung der schlagenden Wetter in den Gruben vorkommen. Die polizeiliche Vorschrift eines zweiten Fahrschachtes für jede Kohlengrube ist ein Rettungsmittel für gewisse andere Unfälle; das Unheil der Explosionen kann dadurch nicht verhütet, auch nicht gemildert werden. So sehen sich denn die Kohlenbergleute fortwährend am Rande einer grossen Gefahr. Vor dieser Gefahr giebt es keinen zuverlässigen Schutz, so lange überhaupt noch explosive Gase in der Grube vorkommen: denn wie das Schutzmittel auch beschaffen sein möge, immer ist damit die Möglichkeit einer Entzündung durch unbeherrschte Zündstoffe nicht ausgeschlossen.

Woher soll die Rettung kommen in dieser Noth? Möglicherweise vom englischen Parlamente. Dieses Parlament hat verboten, dass die Schornsteine rauchen, ohne ein Mittel zu bezeichnen, wie dieß zu machen sei, und siehe da, nach einigen Jahren hat sich der lästige Rauch schon bedeutend vermindert, wenngleich er noch nicht ganz verschwunden ist. Dasselbe Parlament hat die Anlegung eines zweiten Fahrschachtes für Kohlengruben angeordnet, ohne das Missverhältniss der grossen Kosten für eine solche Anlage gegen die damit zu erzielende Sicherheit ängstlich abzuwägen. Warum verbietet das Parlament nicht das Vorkommen von schlagenden Wetter? Warum schliesst es nicht jede Grube, in welcher solche Wetter möglich sind? Ein solches Verbot wäre unbedingt wirksamer als das Verbot des Rauchens und es wäre weniger kostspielig als in manchen Fällen ein zweiter Fahrschacht. Denn was bei dem Verbote des Rauchens nicht möglich war, ein Mittel anzugeben, welches in den bestehenden Feuerungsanlagen den

Rauch beseitigte, ohne diese Anlagen still stehen zu lassen, das ist doch wenigstens in allgemeinen Umrissen beim Verbote der schlagenden Wetter möglich.

Das zunächst sich darbietende Mittel heißt Ventilation. Wenn die explosiven Gase, welche sich bekanntlich allmählich entwickeln, hinreichend mit Luft verdünnt und rasch genug abgeführt werden, ist trotz alles Brennstoffes keine Explosion möglich. Die Konstruktion einer Dampfmaschine und einer Windleitung, welche unausgesetzt Luft in genügender Menge in alle Stollen, Gänge und Örter des Kohlenbergwerkes treibt, um in jedem Punkte dieses Bergwerkes eine zur Verdünnung und Abführung aller Gase ausreichende Luftbewegung zu erzeugen, ist eine für den heutigen Stand der Technik leicht zu lösende Aufgabe.

Durch eine Ventilation dieser Art, welche ein ununterbrochenes Ausblasen der Grube ist, würden nicht bloß die schlagenden, sondern auch die bösen Wetter entfernt, und hiermit hätte man nicht bloß die Gefahr der Explosion, sondern auch die der Erstickung beseitigt und zugleich den Aufenthalt in der Grube gesunder gemacht. Vielleicht hat ein Anderer eine leichter auszuführende Idee: immer aber dürfte das Prinzip der Fortschaffung oder Unterdrückung der schädlichen Gase ein würdiger Gegenstand der Erwägung für die Bergwerksbesitzer und die Aufsichtsbehörden sein.

Von dem Verfasser dieser Schrift sind noch folgende Werke erschienen:

Die mechanischen Prinzipien der Ingenieurkunst und Architektur. 2 Bde.

Auf Grundlage des englischen Werkes von Moseley.

Die Prinzipien der Hydrostatik und Hydraulik. 2 Bde.

Die Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken.

Die Theorie der Festigkeit gegen das Zerknicken.

Die Elastizitätsverhältnisse der Röhren unter hydrostatischem Drucke.

Über Gitter- und Bogenträger und

Über die Festigkeit der Gefäßwände, insbesondere über die Haltbarkeit der Dampfkessel.

Die Berechnung der Fontäne zu Herrenhausen.

Über das Verhältniß der Arithmetik zur Geometrie, insbesondere über die geometrische Bedeutung der imaginären Zahlen.

Der Situationskalkul, eine arithmetische Darstellung der Geometrie auf Grund einer abstrakten Auffassung der räumlichen Größen, Formen und Bewegungen.

Die unbestimmte Analytik, enthaltend die diophantischen Gleichungen des ersten und zweiten Grades, die endlichen und die periodischen Kettenbrüche, die Theorie der Ungleichheiten, die Kongruenz der Zahlen, die Zahlentheorie u. s. w. in reellen und komplexen Zahlen.

Die Auflösung der algebraischen und transzendenten Gleichungen mit einer und mehreren Unbekannten in reellen und komplexen Zahlen.

Methodus nova aequationem indeterminatam secundi gradus duas incognitas implicantem per numeros integros solvendi.

Die Transportkosten und Tarife der Eisenbahnen, auf Grund der Betriebsergebnisse.

Die Umbildung der deutschen Rechtschreibung.

Körper und Geist. Betrachtungen über den menschlichen Organismus und sein Verhältniß zur Welt.

Die physiologische Optik. Eine Darstellung der Gesetze des Auges und der Sinnesthätigkeiten überhaupt. 2 Bde.

Die Gesetze des räumlichen Sehens. Ein Supplement der physiologischen Optik.

Scheffler, Hermann,

Die Ursachen der Dampfkessel-Explosionen und das Dampfkessel-Thermometer
als Sicherheitsapparat

Berlin 1867

Math.a. 213 fe

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10081122-0